

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ**  
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

**NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS**  
(PHYSICS-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

**№ 4 (28) – 2018**

### **Редакционный совет**

**Заместитель председателя** – доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент **Мусиенко Тамара Викторовна**, заместитель начальника университета по научной работе.

**Заместитель председателя** (ответственный за выпуск журнала) – доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

#### **Члены редакционного совета:**

доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, директор Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова;

доктор технических наук, профессор полковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, начальник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;

кандидат юридических наук, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Грешных Антонина Адольфовна**, декан факультета подготовки кадров высшей квалификации;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии Российской Федерации и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Потапов Анатолий Иванович**, заведующий кафедрой «Приборы контроля и систем экологической безопасности» Северо-Западного государственного заочного технического университета;

кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Сильников Михаил Владимирович**, профессор кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности;

доктор психологических наук, профессор полковник внутренней службы **Шленков Алексей Владимирович**, начальник кафедры психологии и педагогики;

кандидат педагогических наук, доцент **Клюй Валерий Владимирович**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ.

#### **Секретарь совета:**

кандидат педагогических наук капитан внутренней службы **Балабанов Марк Александрович**, ответственный секретарь редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

### **Редакционная коллегия**

**Председатель** – подполковник внутренней службы **Стёпкин Сергей Михайлович**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Заместитель председателя** – майор внутренней службы **Алексеева Людмила Викторовна**, начальник отделения – главный редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

#### **Члены редакционной коллегии:**

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Щербаков Олег Вячеславович**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Таранцев Александр Алексеевич**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Антюхов Валерий Иванович**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления;

кандидат технических наук, доцент **Романов Николай Николаевич**, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

кандидат педагогических наук, доцент **Подружкина Татьяна Александровна**, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

#### **Секретарь коллегии:**

капитан внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.



## СОДЕРЖАНИЕ

### **МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

Лабинский А.Ю. Использование генетического алгоритма для многокритериальной оптимизации.....	5
Кулек Н.В., Пойманов А.С. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах .....	9
Чеберяк В.В., Пьянов А.А. Защита людей техническими средствами пожарной автоматики .....	13

### **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Пермьяков А.А. Дисперсность частиц дыма смешанного состава в оценке дальности видимости на пожаре.....	18
Иванов К.С. Снижение динамических нагрузок пожарных автомобилей при движении по неровным дорогам – необходимое условие эксплуатации пожарной техники.....	24
Поляков А.С., Константинова А.С. Актуальные направления исследований влияния дисперсного состава огнетушащего порошка на эффективность тушения пожаров нефтепродуктов .....	28

### **ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Каверзнева Т.Т., Скрипник И.Л. Распространение вредных веществ в подземных тоннелях.....	36
Воронин С.В. Вопросы взаимодействия учебно-материальной базы кафедры.....	40
Медведева Л.В. Развитие творческого мышления как одна из приоритетных образовательных задач современной высшей школы.....	44
Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Кузьмина Т.А. Виртуальный лабораторный эксперимент на основе эмулирования параметров теплового излучения.....	48
Сведения об авторах .....	55
Информационная справка .....	56
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) .....	61

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)», без письменного разрешения редакции не допускается. Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

**ББК Ц.9.3.2**  
**УДК 504+614.8(051.2)**

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: [redakziaotdel@yandex.ru](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

**ISSN 2307-7476**

© Санкт-Петербургский университет Государственной  
противопожарной службы МЧС России, 2018

---

---

# МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

---

---

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности использования компьютерной симуляции эволюционных процессов, часто называемых генетическими алгоритмами, для многокритериальной оптимизации. Приведена логическая структура генетического алгоритма и этапы решения задачи многокритериальной оптимизации.

*Ключевые слова:* генетический алгоритм, многокритериальная оптимизация, компьютерная программа, математическая модель

## USE THE GENETIC ALGORITHM FOR MULTIPLE CRITERIA OPTIMIZATION

A. Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The features of the use of computer simulation of evolutionary processes, often called genetic algorithms, for multi-criteria optimization are considered. The logical structure of the genetic algorithm and the stages of solving the problem of multi-criteria optimization are given.

*Keywords:* genetic algorithm, multiple criteria optimization, computing program, mathematical model

В настоящее время активно развиваются исследования в области разработки компьютерных моделей сложных процессов и систем, основанных на перспективных направлениях моделирования в рамках научного направления «природные вычисления», объединяющего нечеткие системы, нейронные сети, генетические алгоритмы и методы самоорганизации [1–3].

Многие задачи науки и техники относятся к задачам поиска оптимальных решений, причем большинство из них имеют не одно, а множество решений (альтернатив), то есть относятся к классу комбинаторных задач. До появления генетических алгоритмов поиск решений задач оптимизации на множестве альтернатив производился комбинаторным методом, путем направленного, случайного или комбинированного перебора возможных значений параметров задачи, что затрудняло получение результатов за приемлемое время.

Генетические алгоритмы (ГА) позволяют производить эффективный поиск решений на множестве альтернатив, так как в качестве методов комбинаторного перебора вариантов решения задач оптимизации используют методы эволюции живых организмов [1]. Кроме того, ГА не предъявляют требований к виду целевых функций и ограничений.

Многокритериальная оптимизация отличается от задачи обычной оптимизации наличием нескольких критериев (целевых функций) и может быть формализована следующим образом [4]: найти оптимальные значения  $\max/\min\{F_1(X)=K_1\}$ ,

$\max/\min \{F_2(X) = K_2\}, \dots \max/\min \{F_m(X) = K_m\}$  при  $X \in H$ , где  $H$  – множество допустимых решений,  $K = [K_1, K_2, \dots, K_m]$  – вектор критериев (целевых функций),  $m$  – число критериев.

Функции  $F_m(X)$  могут быть линейными, нелинейными или целочисленными.

Множество допустимых решений  $H$  задается путем введения ограничений вида [5]:  $G_k(X) \leq 0$ , где  $k$  – количество ограничений. Для решения нелинейных оптимизационных задач с ограничениями разработаны классические методы, например, метод штрафных функций.

Метод штрафных функций [6] преобразует задачу условной оптимизации функции  $F(X)$  в задачу поиска безусловного оптимума вспомогательной функции следующего вида:

$$F(X, R_t) = F(X) + P(R_t, G_k(X)),$$

где  $P(R_t, G_k(X))$  – штрафная функция;  $R_t > 0$  – параметр штрафа,  $t = 0, 1, 2, \dots$

Штрафная функция  $P(R_t, G_k(X))$  определяет значение штрафа за нарушение каждого из ограничений  $G_k(X)$ , что препятствует выходу решений из допустимой области. При выполнении ограничений штрафная функция равна нулю.

В качестве штрафной функции используется функция следующего вида:

$$P(R_t, G_k(X)) = R_t * \{ \sum_{k=1}^m [G_k(X)]^2 + \sum_{k=1}^m [G_k^*(X)]^2 \},$$

где второе слагаемое  $G_k^*(X) = G_k(X)$  при  $G_k(X) > 0$  и  $G_k^*(X) = 0$  при  $G_k(X) \leq 0$ . За начальную точку поиска  $X_0$  обычно принимается любая точка, не удовлетворяющая ограничениям.

Для определения условного оптимума методом штрафных функций решается последовательность задач (итерационный процесс  $t = 0, 1, 2, \dots$ ) с бесконечно возрастающим параметром штрафа  $R_t$ . Полученная на шаге  $t$  точка поиска  $X_t$  используется в качестве начальной точки на следующем шаге  $t+1$  итерационного процесса. В качестве условия окончания процесса поиска оптимума используется условие вида:

$$P(R_t, G_k(X_t)) \leq E,$$

где  $E$  – заданная точность поиска оптимума.

Главной проблемой многокритериальной оптимизации является построение единой целевой функции, называемой функцией полезности, что позволяет свести задачу многокритериальной оптимизации к хорошо разработанной задаче оптимизации с одним критерием (одной целевой функцией) вида [7]:

$$U = \max/\min U[F_1(X), F_2(X), F_3(X), \dots, F_n(X)],$$

при  $X \in H$ , где  $H$  – множество допустимых решений.

В процессе решения задачи многокритериальной оптимизации путем построения единой целевой функции полезности необходимо учитывать особенности критериев (целевых функций) задачи оптимизации. При этом могут быть следующие частные случаи [7]:

1. Критерии аддитивны (общий критерий равен сумме частных критериев). В этом случае все критерии можно свести к единой шкале и функция полезности может быть записана в следующем виде:

$$U(X) = \sum_{i=1}^n W_i * F_i(X),$$

где  $W_i$  – вес соответствующего критерия, выбираемый на основе экспертных оценок.

2. К критериям могут быть применены операции логического сложения или логического умножения. Например,  $F_i(X) = 1$ , если  $i$ -й критерий выполнен, и  $F_i(X) = 0$ , если

$i$ -й критерий не выполнен. Тогда функция полезности может быть записана в следующем виде:  $U(X) = \prod_{i=1}^n F_i(X)$ , если общий критерий выполняется только при выполнении всех частных критериев, и функция полезности может быть записана в виде:  $U(X) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_i(X)]$ , если общий критерий выполняется при выполнении хотя бы одного частного критерия.

Если в задаче многокритериальной оптимизации построить единую целевую функцию (функцию полезности) не удастся, то можно использовать один из следующих подходов [8]:

- ранжирование критериев по Парето;
- векторная оценка критериев;
- использование взвешенной суммы критериев со случайными, адаптивными или интерактивными весами;
- использование метода разделения (популяция ГА делится на подгруппы, каждая из которых отвечает за один критерий).

Рассмотрим указанные подходы более подробно.

### **Ранжирование критериев по Парето**

Возможные решения задачи оптимизации делятся на доминирующие, недоминирующие и оптимальные. Решение  $X_1$  является доминирующим, если существует решение  $X_2$ , которое не хуже решения  $X_1$  по всем критериям. Если решение не хуже никакого другого решения, то оно является оптимальным. Генетический алгоритм, реализующий данный подход, имеет следующий вид:

1. Инициализация популяции  $I(t)$ ;
2. Вычисление значений целевых функций  $F_i(I)$ ;
3. Создание множества Парето  $P(I)$ ;
4. Оценка значений целевой функции (функции приспособленности);
5. Цикл  $t=1, 2, \dots, n$ , пока не выполнится условие останова:
  - 5.1. Создание новой популяции рекомбинацией (размножением);
  - 5.2. Создание новой популяции мутацией [  $I(t) \rightarrow M(t)$  ];
  - 5.3. Вычисление целевой функции  $F_i(M)$ ;
  - 5.4. Изменение множества Парето  $P(I, M)$ .
  - 5.5. Оценка значения целевой функции (функции приспособленности);
  - 5.6. Отбор следующей популяции  $I(t+)$  из  $I(t)$  и  $M(t)$ .

В процессе расчета сначала ранг 1 присваивается всем недоминирующим особям, которые удаляются из популяции. Затем присваивается ранг 2 оставшимся недоминирующим особям. Процесс продолжается, пока не выполнится ранжирование всей популяции. Затем выполняется отбор особей на основе полученных рангов.

### **Векторная оценка критериев**

Вместо скалярной целевой функции (функции приспособленности) используется векторная функция. Далее реализуется циклический процесс отбора популяции, на каждой итерации которого на основе каждого из критериев отбирается часть популяции. В результате этого процесса повышается вероятность отбора особей, доминирующих более чем по одному критерию.

### **Взвешенная сумма критериев**

Каждой целевой функции присваивается свой вес, в результате чего многокритериальная задача оптимизации сводится к задаче с одним критерием. При этом различные значения весов позволяют получать различные решения по Парето. Существуют модификации данного подхода со случайными, адаптивными или интерактивными весами.

Для оценки качества получаемых решений многокритериальной задачи оптимизации используются мера качества решений и среднее расстояние решений. Мера качества решений равна отношению числа оптимальных решений по Парето к общему числу полученных решений.

Среднее расстояние решений (для двух критериев) равно:

$$D_{PX} = \sqrt{\{[F_1(P) - F_1(X)]^2 + [F_2(P) - F_2(X)]^2\}},$$

где  $P$  – решение, оптимальное по Парето;  $X$  – текущее решение.

### Компьютерная модель многокритериальной оптимизации с помощью генетического алгоритма

Структура генетического алгоритма с указанием этапов его работы, а также возможная реализация некоторых этапов генетического алгоритма изложены в работе [9]. Разработанная модель генетического алгоритма была реализована в виде программы для ЭВМ. Для демонстрации возможностей разработанного генетического алгоритма решалась следующая задача многокритериальной оптимизации:

$$\begin{aligned} F_1(X) &= x_1 + x_2 + 2 \rightarrow \max; & F_2(X) &= x_1 - x_2 + 6 \rightarrow \max; \\ G_1(X) &= x_1 - 4 \leq 0; & G_2(X) &= x_2 - 2 \leq 0; & G_3(X) &= x_1 + 2x_2 - 6 \leq 0; \\ G_4(X) &= x_1 \geq 0; & G_5(X) &= x_2 \geq 0. \end{aligned}$$

Начальные значения переменных:  $x_1 = 0,1$ ;  $x_2 = 0,1$ .

Начальные значения критериев (целевых функций):  $F_1(X) = 2,2$ ;  $F_2(X) = 6,0$ .

Оптимальные значения переменных:  $x_{10} = 4,0$ ;  $x_{20} = 0,5$ .

Оптимальные значения критериев (целевых функций):  $F_{10}(X) = 6,5$ ;  $F_{20}(X) = 9,5$ .

Область допустимых решений задачи представлена на рисунке.

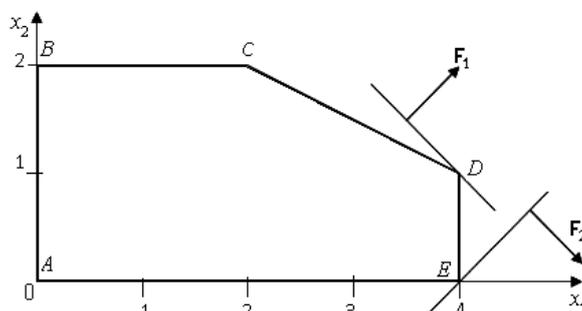


Рис. Область допустимых решений

Координаты области допустимых решений:  $A(0,0)$ ,  $B(0,2)$ ,  $C(2,2)$ ,  $D(4,1)$ ,  $E(4,0)$ . Стрелками указаны направления возрастания каждого критерия. Критерий  $F_1$  достигает максимума в точке  $D$  области допустимых решений, а критерий  $F_2$  – в точке  $E$ . Подмножество эффективных решений есть множество точек отрезка  $DE$ . Все остальные точки области допустимых решений принадлежат к подмножеству неэффективных решений, так как в любой из них возможно увеличение сразу обоих критериев эффективности.

Решение задачи многокритериальной оптимизации производилось с помощью разработанного генетического алгоритма. В качестве функции полезности (целевой функции) использовалась взвешенная сумма критериев, определяемая по формуле:

$$U(X) = \sum_{i=1}^n [W_i * F(X, R_i)],$$

где  $n = 2$ ; веса критериев  $W_i \in [0,4; 0,6]$ ;  $F(X, R_i)$  – вспомогательная функция метода штрафных функций.

Ошибка оптимизации вычислялась по формуле:

$$A_{\text{опт}} = (|U_2 - U_1|/U_1) * 100 [\%],$$

где  $U_1$  – оптимальное значение функции полезности;  $U_2$  – значение функции полезности, полученное с помощью ГА.

В процессе вычислительных экспериментов были получены результаты многокритериальной оптимизации, приведенные в таблице:

Таблица

№ эпохи	№ поколения	$X_{10}$	$X_{20}$	$W_i$	$F_1(X_{10}, X_{20})_{\max}$ $F_2(X_{10}, X_{20})_{\max}$	$A_{\text{opt}}, \%$
Оптimum		4,0	0,5		6,50; 9,50	–
13	7	3,78	0,53	0,4; 0,6	6,31; 9,26	7,4
3	45	3,71	0,499	0,5; 0,5	6,21; 9,22	11,8
1	245	3,94	0,515	0,6; 0,4	6,46; 9,43	4,4

Результаты компьютерного моделирования путем проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ показали, что созданная компьютерная модель генетического алгоритма в виде программы для ЭВМ способна решить задачу многокритериальной оптимизации, состоящую из двух критериев (целевых функций) с пятью ограничениями, с приемлемой точностью.

### Литература

1. Лабинский А.Ю., Подружжина Т.А. Особенности использования генетических алгоритмов и нейронных сетей // Природные и техногенные риски. 2015. № 4 (16).
2. Лабинский А.Ю. Модель нечеткого прогнозирования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4 (40).
3. Лабинский А.Ю. Особенности использования нейронной сети для распознавания изображений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 3 (39).
4. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. М.: Радио и связь, 1992.
5. Корниенко В.П. Методы оптимизации. М.: ЛИБРОКОМ, 2007.
6. Соболев Б.В., Месхи Б.Ч., Каныгин Г.И. Методы оптимизации. Ростов н/Д: Феникс, 2009.
7. Трифонов А.Г. Многокритериальная оптимизация. М.: БИНОМ, 2014.
8. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. М.: ТЕЛЕКОМ, 2004.
9. Щербаков О.В., Лабинский А.Ю. Особенности использования компьютерной симуляции эволюционных процессов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 4 (44).

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ НА ПОЖАРАХ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

**Н.В. Кулек;**

**А.С. Пойманов.**

**Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России**

Рассмотрено понятие пожарной автоматики, особенности ее законодательного регулирования, эксплуатации в жилых домах. Раскрыты основные причины снижения эффективности средств пожарной автоматики и результаты статистического исследования связанные с риском гибели при эксплуатации пожарной автоматики.

*Ключевые слова:* риск гибели при пожаре, средства пожарной автоматики, эффективность средств пожарной автоматики.

## EFFICIENCY OF MEANS OF FIRE AUTOMATICS ON FIRES IN APARTMENT HOUSES

N.V. Kulek; A.S. Poimanov.

Far Eastern fire and rescue Academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article deals with the concept of fire automatics, the features of its operation in residential buildings and the legislative base concerning it, as well as the main reasons for the decrease in the efficiency of fire automatics and the results of a statistical study on the risk of death in the operation of certain fire automatics.

*Keywords:* risk of death in case of fire, means of fire automatics, efficiency of fire automatics

Согласно статистическим исследованиям средняя вероятность риска гибели человека на пожаре в жилых домах, оборудованных устройствами пожарной автоматики, почти в три раза ниже, чем в жилых домах, не оборудованных ими.

Согласно отчетам сотрудников МЧС России около 70 % всех пожаров в России происходят в жилых зданиях, что влечёт за собой многочисленные жертвы людей. Федеральное законодательство устанавливает нормы и правила для предупреждения и снижения факторов пожаров, чтобы снизить риски, ведущие к гибели людей.

Рассмотрим суть системы противопожарной сигнализации. Пожарной автоматикой, согласно официальным источникам [1], называется комплекс технических средств для предупреждения, тушения, локализации или блокировки пожара внутри помещений. Все помещения с высокой пожарной опасностью обязательно должны быть оборудованы пожарной автоматикой. Ее средства предназначены для определения наличия пожара, уведомления людей о нем, контроля их эвакуации, автоматического тушения и удаления дыма из здания, а также управления инженерным и технологическим оборудованием зданий и объектов.

Законодательная база регулирования пожарной сигнализации в жилых домах определяется такими нормативными актами, как:

- Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности в Российской Федерации»;
- нормативные документы МЧС России в области пожарной безопасности;
- нормативные акты иных ведомств, отвечающих за градостроение и общественную безопасность (в части тех вопросов, которые имеют отношение к предупреждению пожаров).

Сегодня пожарная автоматика представляет собой лучшее из достижений технологического прогресса, многофункциональный механизм. Пожарная автоматика способна:

- локализовать (определять) опасность пожара;
- передавать информацию о пожаре в экстренные оперативные службы и оповещать жильцов об эвакуации;
- активировать системы дымоудаления и тушения пожаров по всему дому;
- разблокировать запорные устройства эвакуационных выходов, показывать направление для эвакуации жильцов [2].

Но существуют причины, снижающие эффективность пожарной автоматики. К ним относятся:

- ложное срабатывание пожарной сигнализации и автоматики;
- простой системы пожарной автоматики в не активном состоянии;

- полное отключение пожарной автоматики из-за несанкционированных выходов огнетушащего вещества;
- формальное ведение журналов технического обслуживания и пренебрежение проверками систем пожарной автоматики.

Основная причина гибели людей в пожарах при наличии систем пожарной автоматики является сам человек. Согласно статистике, в период с 2010 по 2017 гг. на территории России зафиксировано более полутора миллионов пожаров, вследствие которых погибли почти 120 тыс. человек. То есть примерно 15 человек на каждые 200 пожаров. 40 % этих пожаров происходили в жилых домах, где погибло 90 тыс. человек, то есть 77 % от общего числа погибших при пожарах. При этом на каждые 100 пожаров в жилых домах уже приходится почти 15 человек [3].

Очевидна необходимость определенных мероприятий по уменьшению рисков пожаров в жилых домах: от профилактики до мелких и капитальных ремонтов или даже полной реконструкции жилого фонда государства.

Основным направлением этих мероприятий является установка абсолютно во всех жилых домах систем пожарной автоматики. Для оценки целесообразности данного мероприятия было проведено исследование статистической информации о пожарах и их последствиях в жилых домах в период с 2010 по 2017 гг., результаты которого изложены ниже.

В домах, которые оборудованы системами пожарной автоматики, зафиксировано 6 021 пожар в период с 2010 по 2017 гг., при этом погибло 325 человек и ущерб оценивается в 235 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 55 % случаев, при этом только в 1,5 % случаев она действительно не справилась, в остальном же она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. Предположительно, по причине неисправного состояния пожарной автоматики погибло 48 % людей от общего числа погибших в жилых домах, в которых установлена система пожарной автоматики.

И хотя, как сказано выше, наличие системы пожарной автоматики спасает далеко не всегда, в домах, оборудованных пожарной автоматикой, умирает 5,35 человек на 100 пожаров, что почти в три раза ниже такого же показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Известно, что есть различные виды систем пожарной автоматики. Рассмотрим результативность работы каждого из них в период с 2010 по 2017 гг. (рисунок).

Охранно-пожарная сигнализация. Количество пожаров – 506. Погибших – 36 человек. Ущерб – 56 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 28,8 %, случаев, из которых только в 5,5 % она действительно не справилась, в остальном же (23,3 %) она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. В домах с данной системой пожарной автоматики погибает в среднем 6,93 чел. на 100 пожаров, что в два раза ниже аналогичного показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Пожарная сигнализация. Количество пожаров – 1 843. Погибших – 144 человека. Ущерб – 135 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 62,9 % случаев, из которых только в 1,1 % она действительно не справилась, в остальном же (61,8 %) она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. В домах с данной системой пожарной автоматики погибает в среднем 9,7 чел. на 100 пожаров, что в 1,8 раза ниже аналогичного показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Установки пожаротушения. Количество пожаров – 120. Погибших – семь человек. Ущерб – 6 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 71,44 %, случаев, из которых только в 9,25 % она действительно не справилась, в остальном же (62,19 %) она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. В домах с данной системой пожарной автоматики погибает в среднем 5,04 чел. на 100 пожаров, что в 2,8 раза ниже аналогичного показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Системы противодымной защиты (ПДЗ). Количество пожаров – 3 318. Погибших – 129 человек. Ущерб – 54 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 75,29 %, случаев,

из которых только в 0,85 % она действительно не справилась, в остальном же (74,44 %) она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. В домах с данной системой пожарной автоматики погибает в среднем 3,86 чел. на 100 пожаров, что в 3,7 раза ниже аналогичного показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Системы оповещения о пожаре. Количество пожаров – 85. Погибших – девять человек. Ущерб – 33 млн руб. Пожарная автоматика не сработала в 26,2 %, случаев, из которых только в 1,2 % она действительно не справилась, в остальном же (25 %) она была либо отключена, либо в неисправном состоянии. В домах с данной системой пожарной автоматики погибает в среднем 9,52 чел. на 100 пожаров, что в 1,5 раза ниже аналогичного показателя в домах без системы пожарной автоматики.

Определим эффективность работы пожарной автоматики в жилых домах России.

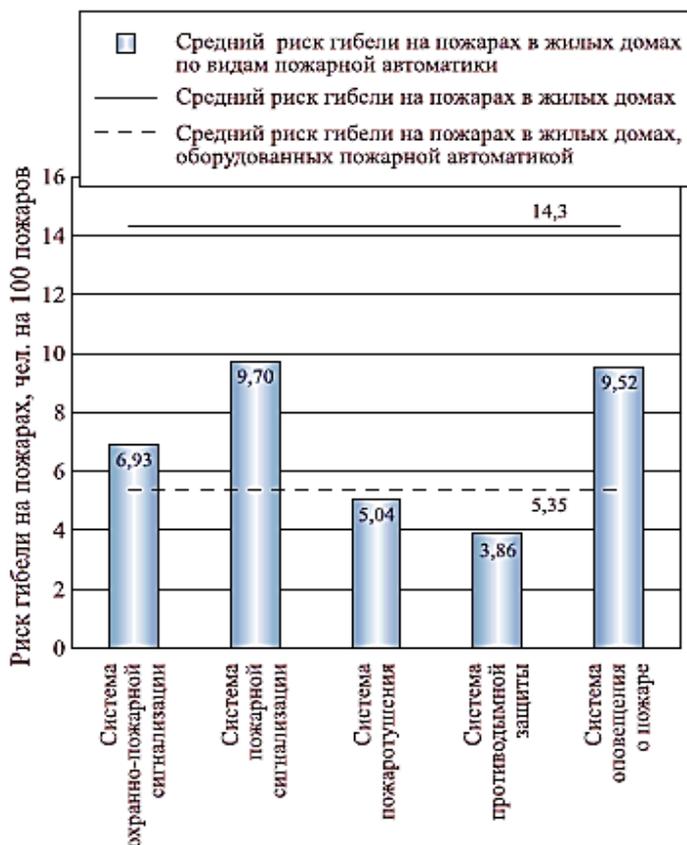


Рис. Средние величины риска гибели на пожарах в жилых домах по различным видам пожарной автоматики за 2010–2017 гг.

На рисунке сплошная горизонтальная линия отражает среднюю величину риска гибели на пожарах в жилых домах страны за период с 2010 по 2017 гг., пунктирная – среднюю величину риска гибели на пожарах в жилых домах, оборудованных различными средствами пожарной автоматики, за аналогичный период.

При этом стоит обратить внимание на низкую степень надежности и работоспособности при эксплуатации различных видов пожарной автоматики при пожарах в жилых домах. Это является следствием несогласованности действий со стороны, как надзорных органов, так и управляющих и обслуживающих компаний по организации проведения работ технического обслуживания, диагностики, планово-предупредительного ремонта и контроля, в том числе фактического наличия средств пожарной автоматики, установленных ранее в помещениях жилых домов подрядными и строительными организациями.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: даже при существующем состоянии дел, когда более чем в 50 % случаев установленные автоматические системы пожарной

сигнализации находятся в неисправном или неработоспособном состоянии, средняя величина риска гибели человека при пожаре в жилых домах, оборудованных каким-либо из видов средств пожарной автоматики, почти в три раза ниже, чем в жилых домах, не оборудованных средствами пожарной автоматики. Об аналогичных результатах применения средств пожарной автоматики в жилом секторе говорят и зарубежные исследования, и опыт [3, 4]. Так, например, риск гибели на пожарах в жилых домах США [5], оборудованных дымовыми пожарными извещателями, в два раза ниже, чем в домах без средств автоматики.

Пожары – реальная и самая распространенная опасность для жилых домов из всех известных чрезвычайных ситуаций. В многоквартирных домах эта опасность только увеличивается, поскольку большое количество жильцов усугубляет «человеческий фактор».

Правильно выбранная, установленная и обслуживаемая специалистами система предупреждения о пожаре является единственным способом свести угрозу пожара к наиболее минимальной величине вероятности.

### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 3 июля 2016 г.).
2. Особенности средств пожарной автоматики в жилых домах. URL: <http://protectfire.ru/pozharnaya-signalizatsiya-v-zhilykh-mnogokvartirnykh-domakh.html> (дата обращения: 23.09.2018)
3. Пожары и пожарная безопасность: статистические сборники. М.: ВНИИПО, 2010–2017 гг.
4. Ahrens M. U. S. Experience with smoke alarms and other fire alarms. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2013.
5. Experience with smoke alarms, 04/07. NFPA, Fire Analysis and Research, Quincy, MA, 2016.

## **ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ**

**В.В. Чеберяк;**

**А.А. Пьянов.**

**Дальневосточная пожарно-спасательная академия –  
филиал Санкт–Петербургского университета ГПС МЧС России.**

Изложены научно-методологические основы создания автоматизированной системы управления противопожарной защитой. Разработана обобщенная структура и обоснованы ее функции.

*Ключевые слова:* противопожарная защита, функции, задачи, автоматизированная система управления, комплекс технических средств, локальная вычислительная сеть

## **PROTECTING PEOPLE WITH TECHNICAL MEANS OF FIRE AUTOMATICS**

V.V. Cheberyak; A.A. Ryanov.

Far Eastern fire and rescue Academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

The article presents the scientific and methodological basis for the creation of an automated fire protection control system. The generalized structure is developed and functions are proved.

*Keywords:* fire protection, functions, tasks, automated control system, complex of technical means, local computer network

Ежегодно в России происходит около 50 000 пожаров, на которых погибает более 3 500 человек. Такие же потери ежегодно испытывал СССР в период военных действий в Афганистане. В основе многих причин пожаров и взрывов лежит недооценка их опасности, что порождает недостаточное внимание к проблеме обеспечения пожаровзрывоопасности со стороны правительственных и выборных органов, конструкторов, строителей, руководителей и владельцев предприятий.

Обеспечение приемлемых уровней пожаровзрывоопасности высоко рискованных объектов требует проведения целого комплекса мероприятий, в том числе:

- модернизации и замены устаревшего производственного технологического оборудования;
- улучшение оснащенности объектов техническими средствами пожаровзрывоопасности, повышение их качества, широкое внедрение автоматики;
- повышение ответственности конструкторов, строителей и персонала объектов по соблюдению требований пожаровзрывоопасности;
- углубление профессиональных знаний работников, занимающихся обслуживанием производственного технологического оборудования;
- усиление надзорно-профилактической деятельности в системе пожаровзрывоопасности городов, регионов и объектов.

В этом комплексе мероприятий особо следует выделить необходимость повышения уровня автоматизации, качества информатизации и управления с целью их увязки в единую систему и обеспечения согласованного функционирования, рационального использования ресурсов, интенсификации и оптимизации деятельности всей системы пожаровзрывоопасности, ее функциональной интеграции с другими системами и службами безопасности.

Автоматические системы противопожарной защиты высоко рискованного объекта представляют собой сложную совокупность взаимосвязанных мероприятий, сил и средств, в которой ключевую роль играет автоматизация, которая позволяет повысить эффективность защиты людей и материальных ценностей от угрозы пожаров и взрывов.

Система противопожарной защиты – это совокупность технических средств, предназначенных для автоматического обнаружения пожара и оповещения о нем людей, тушения, удаления опасных факторов и минимизации последствий пожара на объекте.

Понятие «автоматизация» в настоящее время имеет двоякий смысл. Это понятие возникло после создания автоматики, управляющей процессами без непосредственного участия человека, и задолго до появления электронной вычислительной техники, означая внедрение автоматических устройств и систем [1].

Появление, стремительное развитие и широкое внедрение в практику электронной цифровой вычислительной техники в последние десятилетия позволило, с одной стороны, существенно расширить возможности создания и область применения автоматических устройств и систем, повысить их эффективность и, с другой стороны, создать совершенно новый вид технических систем – автоматизированные системы, которые решают разного рода задачи в режиме диалога человека с компьютером, при котором окончательные решения принимает человек.

С появлением автоматизированных систем понятие «автоматизация» потеряло свой первоначальный смысл и означает внедрение не только автоматических устройств и систем, но и автоматизированных систем. Поэтому, говоря об автоматизации любого процесса, устройства, системы, следует конкретизировать о внедрении чего идет речь: автоматики или человеко-машинных систем.

Из классической теории автоматического управления известно о существовании трех принципов управления, а именно: принцип управления по возмущению, принцип управления

по отклонению и комбинированный принцип, который сочетает преимущества двух предыдущих. При построении современных систем пожарной автоматики чаще всего используют принцип управления по возмущению.

Недостатком разомкнутой системы является низкая статическая точность. Дело в том, что для обеспечения высокой точности управления необходимо следить за большим количеством внешних воздействий, например, при контролируемом параметре – температура окружающей среды, необходимо также учитывать сезонные изменения температуры, а также влияние систем отопления или технологического оборудования. В таком случае нужно иметь информацию о скорости изменения контролируемого параметра или даже о его ускорении. Тогда прибор управления должен иметь вычислительное устройство для выполнения вышеупомянутых функций, а это усложняет систему и может быть реализовано только с применением микропроцессорной техники.

Рассматриваемого недостатка лишена замкнутая система управления. Но, вместе с тем, ее слабым местом являются ограниченные динамические возможности, вызванные тем, что управляющая часть системы начинает работать при наличии ошибки управления, когда изменение регулируемого параметра уже состоялось.

Реализация комбинированного принципа управления позволяет избавиться от приведенных недостатков обеих систем и в полной мере использовать их преимущества, но, к сожалению, в современных системах пожарной автоматики пока не применяется.

В состав любой системы пожарной сигнализации входят пожарные извещатели, приемно-контрольные приборы, световые и звуковые пожарные оповещатели, технические средства передачи информации к пультам.

Главное для пожарной сигнализации – это разумный компромисс между двумя задачами:

- не выдать ложного сообщения о пожаре;
- отреагировать на наличие факторов пожара.

Функцию определения факторов пожара и передачи тревожного сообщения выполняют пожарные извещатели, а приемно-контрольный прибор должен уметь надежно детектировать это сообщение и принимать решение о том, каким образом реагировать на него, чтобы избежать возможных потерь как от самого пожара, так и от результатов работы средств пожарной автоматики.

Возможность автоматического сброса пожарного извещателя для возвращения его в исходное состояние после срабатывания очень важна для реализации функции верификации (переспрос) извещателя, сработавшего в шлейфе. Извещатели не идеальны и могут формировать ложные сообщения о пожаре. Чтобы удостовериться в том, что сообщение не ложное, прибор сбрасывает извещатель и ожидает его повторного срабатывания. Лишь после повторного срабатывания принимается решение о наличии в помещении опасности пожара [2].

Как известно, аппаратура системы пожарной сигнализации при срабатывании не менее двух пожарных извещателей должна формировать команды на управление автоматическими установками пожаротушения или дымоудаления, оповещения о пожаре, управления инженерным оборудованием объектов. Для шлейфов, которые могут различать срабатывания одного, двух и более извещателей введено специальное обозначение – двухпороговый. Использование двухпороговых шлейфов позволяет сэкономить на количестве извещателей, устанавливаемых в одном помещении, а также сэкономить на проводах.

Как уже отмечалось, списывать со счетов традиционные радиальные системы сигнализации преждевременно. В числе перспективных задач дальнейшее расширение функциональности таких систем с точки зрения интеграции с инженерными системами объектов. Развитие так называемой технологической на аппаратной базе существующих систем пожарной сигнализации оправдано тем, что большая часть инженерного оборудования имеет контактные выходы, которые идеально подходят для включения

в радиальные шлейфы сигнализации. Кроме того, постоянно ведутся работы, направленные на повышение надежности ведущих радиальных систем. Здесь можно выделить три составные части, каждая из которых вносит свой вклад в общий показатель надежности:

- извещатель;
- ведущий шлейф, как канал связи;
- приемно-контрольный прибор.

Оглянувшись примерно на 10 лет назад, мы увидим, какой путь развития прошли извещатели и какая огромная работа была проделана. Если снаружи конструкция извещателей изменилась незначительно, то внутреннее наполнение эволюционировало весьма существенно. Использование микроконтроллеров позволило применить математические методы обработки сигналов от первичных преобразователей, реагирующих на факторы пожара или тревоги. Это позволяет отфильтровывать случайные погрешности, регулировать при необходимости уровень порогового значения фактора тревоги и накапливать данные о его изменении с течением времени. Развитые функции самодиагностики дымовых пожарных извещателей позволяют сейчас детектировать неисправность оптического канала или неисправности собственной схемы извещателя, предотвращая формирование ложных сигналов о пожаре. Дальнейшее повышение надежности работы извещателей, многофакторное определение тревоги/пожара, использование новых методов и алгоритмов работы обуславливают пути их развития. Вслед за извещателями не менее долгий путь развития прошли и приемно-контрольные приборы. Но самым «неразвитым» сегментом радиальных систем остается собственно шлейф, как канал связи между извещателями и приемно-контрольным прибором. Сейчас иметь двухпроводную линию для передачи бинарного состояния экономически нецелесообразно.

В далекой перспективе, когда стоимость адресно-аналогового извещателя приблизится к стоимости традиционного предельного извещателя, радиальные системы уступят свои позиции, но в ближайшей перспективе, пока стоимость адресных систем достаточно высока, широкой альтернативы радиальным системам нет. Но это утверждение не означает, что радиальные системы не будут развиваться.

Уже сейчас на рынке есть гибридные системы, сочетающие в себе достоинства адресных и предельных систем. В таких гибридных системах, называемых опытных адресно-предельными, реализованы следующие достоинства адресных систем [3]:

- определение возгорания с точностью до места установки извещателя;
- проверка работоспособности и автоматическая идентификация каждого неисправного извещателя;
- указание на необходимость технического обслуживания извещателя;
- возможность разветвления шлейфа;
- отсутствие необходимости обрывать шлейф при извлечении извещателя из розетки.

Перспектива развития радиальных систем заключается в сочетании в рамках одного прибора обычных предельных шлейфов и опытных адресно-предельных шлейфов сигнализации. По стоимости один адресно-предельный извещатель, вероятно, будет сопоставим со стоимостью двух традиционных предельных извещателей, но для небольших и средних объектов их применение позволит удешевить систему в целом. При наличии функции контроля исправности допускается установка одного извещателя в помещении вместо двух обычных предельных.

Можно сделать следующие выводы:

- для малых и средних объектов радиальные системы охранно-пожарной сигнализации (ОПС) с точки зрения затрат, надежности и функциональности являются наиболее рациональным решением;
- использования механизмов защиты от саботажа охранных зон потенциально снижает риск материальных потерь;

- верификация состояния пожарных извещателей, а также учет влияния переходных процессов в пожарных шлейфах способны минимизировать количество ложных сигналов о пожаре;
- применение двупороговых пожарных шлейфов позволяет оптимизировать затраты на материалы и оборудование;
- перспективным направлением развития радиальных систем ОПС являются адресно-предельные системы.

### **Литература**

1. Абросимов А.А., Топольский Н.Г., Федоров А.В. Автоматизированные системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств. М.: Академия ГПС МВД России, 2012. 252 с.
2. Фомин В.И., Фёдоров А.В., Лукьянченко А.А., Костюченков Д.К. // Автоматический аналитический контроль взрывоопасности воздушной среды промышленных объектов. М.: Пожаровзрывобезопасность. 2004. № 4. С. 49–54.
3. Федоров А.В., Костюченков Д.К. Автоматизация управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающего завода // Системы безопасности» – СБ–2000. Материалы IX науч.-техн. конф. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. С. 61–63.



---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## ДИСПЕРСНОСТЬ ЧАСТИЦ ДЫМА СМЕШАННОГО СОСТАВА В ОЦЕНКЕ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ НА ПОЖАРЕ

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;**  
**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;**  
**А.А. Пермяков, кандидат педагогических наук.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Изучены связи между параметрами дыма, видимостью и уравнениями баланса оптической плотности дыма в рамках интегральной и инерционно-диффузионной моделей пожара. Установлена возможность использования методики решения обратной оптической задачи в уточнении связей между параметрами дисперсности и показателем поглощения для дымов, образующихся в результате пиролиза и пламенного горения. Произведен анализ результатов спектрофелометрических измерений для однородных и неоднородных по химическому составу многокомпонентных дымов смешанного состава, образующихся в режимах пиролиза и пламенного горения

*Ключевые слова:* горение пожарной нагрузки, дальность видимости на пожаре, дисперсная смесь, дымы смешанного состава, низкотемпературный пиролиз, оптическая плотность дыма, пламенное горение, поглощающая способность, пожарная нагрузка

## DISPERSION OF PARTICULAR SMOKE PARTICLES IN THE ASSESSMENT OF VISIBILITY RANGE IN A FIRE

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; A.A. Permyakov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Relations between smoke parameters, visibility and smoke optical density balance equations in the framework of integral and inertial-diffusion models of a fire are studied in the article. We have established the possibility of using the technique of inverse optical problem solving in refining the relations between the dispersion parameters and the absorption index for fumes formed as a result of pyrolysis and flame combustion. The analysis of the results of spectrophelometric measurements for homogeneous and heterogeneous by chemical composition multicomponent fumes of mixed composition formed by pyrolysis and flame combustion is made.

*Keywords:* fire load burning, visibility range in a fire, dispersed mixture, mixed composition fumes, low-temperature pyrolysis, smoke optical density, flaming burning, absorbing capacity, fire load.

В настоящее время в России принято оценивать пожарную опасность по распространению опасных факторов пожара (ОФП). Опасными факторами пожара, воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры;

повышенная температура окружающей среды; токсичные продукты горения и термического разложения; дым; пониженная концентрация кислорода.

Критическая продолжительность пожара для людей определяется из условия достижения одним из ОФП своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей рассматривается условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения.

Первым возникающим ОФП является критическая продолжительность пожара по потере видимости, которая и определяет время блокирования эвакуационных выходов.

Дым, являющийся следствием любого возгорания, уменьшает видимость, а это, в свою очередь, препятствует эвакуации. Видимость зависит от концентрации (оптической плотности) дыма и таких факторов, как уровень контраста с фоном и человеческое восприятие.

Ухудшение видимости является главной опасностью, которую следует учитывать при проектировании дымоудаления, особенно для обитателей тех помещений, которые не находятся непосредственно в зоне возгорания. В литературе по пожаротушению приведен диапазон допустимых уровней видимости [1]. Для людей, знакомых с планировкой здания и знающих путь к спасению, допустимый уровень видимости составляет 3÷5 м, а для тех, кто плохо ориентируется, уровень видимости должен быть не менее 25 м.

Дымы различной природы отличаются составом частиц продуктов горения, размерами частиц, их скоростью движения и концентрацией.

Для расчёта параметров распространения продуктов горения по зданию составляются и решаются уравнения аэрации, тепло- и массообмена. В систему уравнений входит уравнение баланса оптической плотности дыма, которое применительно интегральной модели пожара имеет вид [2]:

$$V_i \frac{d\mu_j}{dt} = \psi D_m + \sum_i \mu_i G_i - \mu_j \sum_k G_k ,$$

где  $\mu_i$ ,  $\mu_j$  – оптическая плотность дыма в  $i$ -м и  $j$ -м помещениях, Нп/м;  $V_i$  – объём помещения, м<sup>3</sup>;  $D_m$  – дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп·м<sup>2</sup>/кг;  $G_k$  – расход газов, входящих в помещение, кг/с;  $G_i$  – расход газов, выходящих из помещения, кг/с;  $\psi$  – скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с.

Оптическую плотность дыма можно определить через удельную массу частиц дыма  $f_D$ , удельный коэффициент поглощения  $\alpha_m$ , и плотность газа  $\rho$ :

$$\mu = \frac{f_D \alpha_m \rho}{2,303} \quad (1)$$

Поле величины предельной видимости предлагается рассчитывать через оптическую плотность дыма:

$$l_{np} = \frac{2,38}{\mu}$$

Однако интегральная модель не позволяет корректно учитывать процессы диффузии и осаждения частиц дыма, поэтому целесообразно использовать подход Эйлера, который предполагает, что плотность смеси несущей фазы и дисперсного потока выражается через массовые доли отдельных компонентов продуктов горения пожарной нагрузки следующим образом:

$$\rho = \frac{1}{\sum_i \frac{g_i}{\rho_i}}$$

Объемная доля  $i$ -го компонента связана с его массовой долей соотношением:

$$r_i = \frac{\rho g_i}{\rho_i}$$

Уравнение неразрывности потока дымовых газов:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho v) = 0$$

Уравнение баланса количества движения продуктов горения:

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla(\rho v) = -\nabla P + \nabla(\tau^m + \tau^t) + (\rho - \rho_\infty)g - \nabla(\rho f_\theta u^r)$$

где  $\tau^m$  – тензор вязких напряжений;  $\tau^t$  – тензор Рейнольдсовых напряжений;  $g$  – гравитационная сила на единицу массы дыма;  $P$  – абсолютное давление продуктов горения.

При этом уравнение переноса компонентов основной массы дыма:

$$\frac{\partial \rho f_i}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot v \cdot f_i) = \nabla \left( \left( D_i + \frac{\mu_i}{Sc_i} \right) \nabla f_i \right) + m_i$$

где  $D$  – коэффициент молекулярной диффузии;  $Sc$  – турбулентное число Шмидта;  $m_i$  – источниковый член.

Существующие ограничения в использовании данной инерционно-диффузионной модели, предполагающие, что линейные размеры частиц не превышают 50 мкм, вполне соответствуют условиям большинства пожаров [2].

Таким образом, возможность прогнозирования времени достижения одним из ОФП своего предельно допустимого значения в части потери видимости определяется, в том числе, и содержанием микроструктуры дымового аэрозоля, содержащегося в продуктах горения на пожаре.

Основу методики ее оценки определяет традиционный подход [3] к решению обратной задачи, сформулированные В.Е. Зуевым и И.Э. Наацем [4].

В рамках предлагаемой [4] базовой методики функция распределения твердых частиц в продуктах горения (2) может быть аппроксимирована гистограммой, которая определяется на основе минимизации сглаживающего функционала [5]:

$$S(r) = \pi \cdot r^2 \cdot n(r), \quad (2)$$

где  $n(r) = dN/dr$  – плотность распределения счетной концентрации твердых частиц в продуктах горения.

$$F_a(S, m) = \sum_j \eta_j \sum_i \left( \sum_i^k q_{i,j,l} S_l \beta_{i,j} \right)^2 - \\ + \alpha \left[ \rho_o \sum_l^k S_l^2 + \rho_1 \sum_l^{k-1} (\Delta S_{l+1,i})^2 \right],$$

где  $\beta_{i,j}$  – измеряемые спектрофелометром значения оптической плотности под углами  $\theta_j$  ( $j=1,2,\dots,5$ ) для длин волн  $\lambda_i$  ( $i=1,2, \dots, 9$ );  $q_{ijl}$  – элементы матрицы, рассчитываемые на основе квадратур по значениям оптической плотности облака аэрозольных частиц радиуса

$r$  для фиксированной сетки значений  $r_i$  ( $i=1,2, \dots,k$ ), длины волны теплового излучения пожара ( $i=1,2, \dots,9$ ) и углов рассеивания  $\theta_j$ ;  $m=n-i\chi$  – комплексный показатель преломления твердых частиц дымового аэрозоля в продуктах горения;  $p_0$  и  $p_1$  – масштабные коэффициенты;  $\eta_j$  – весовые множители.

Базовый подход при решении задачи исходит из предположения, что оптические постоянные вещества твердых частиц внутри дисперсной смеси, составляющей продукты горения на пожаре, неизменны, постоянны по всему спектру размеров твердых частиц, то есть аэрозольная среда в первом приближении остается однородной на протяжении пожара.

Свойства дымов, образующихся в режиме низкотемпературного пиролиза пожарной нагрузки, таковы, что для решения поставленной задачи достаточно оценки лишь одного обобщенного для всех частиц значения оптической плотности дыма, погрешность такого решения не превышает 7÷14 % [5]. Однако в силу объективной неоднородности состава сложных дымовых смесей, образующихся в результате действия процессов пиролиза и пламенного горения пожарной нагрузки, погрешность возрастает до 60÷80 %.

Предложенный подход [6] позволил выполнить анализ результатов спектрофелометрических измерений как для однородных по химическому составу дымов пиролиза пожарной нагрузки, так и для явно неоднородных по химическому составу многокомпонентных дымов смешанного состава, образующихся при одновременном воздействии двух источников дымообразования в режимах пиролиза и горения. Результаты таких измерений для древесных дымов, проведенные в аэрозольной камере большого объема, опубликованы в [7] и представлены на рис. 1.

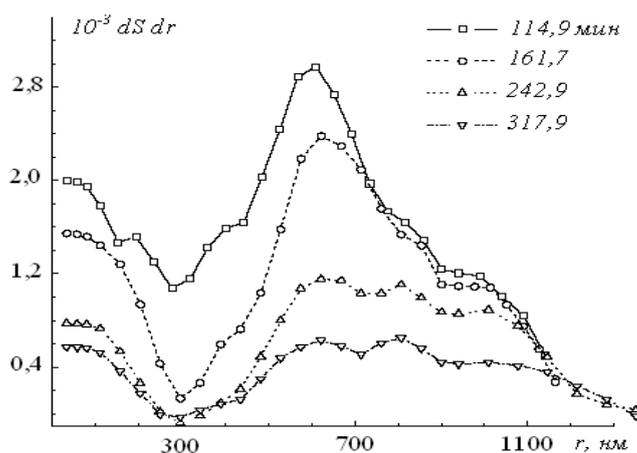


Рис. 1. Распределения геометрического сечения твердых частиц по размерам для аэрозоля, образующегося при пиролизе пожарной нагрузки на основе древесины

Изменения дисперсного состава аэрозольной смеси в продуктах горения на пожаре показывают, что основной по массовому содержанию и оптически активной является среднedisперсная фракция частиц размерами 200÷1 000 нм, имеющая хорошо выраженный максимум распределения  $dS/dr$  в окрестности  $r_m \sim 600$  нм. Именно для этого интервала размеров твердых частиц полученные оценки оптической плотности дыма на основе решения обратной задачи [3] практически совпадают с результатами натурального эксперимента.

В смешанных дымах с появлением в дисперсной смеси аэрозольных частиц, образующихся в процессе пламенного горения пожарной нагрузки, ситуация с динамикой оптико-микрофизических параметров, определяющих видимость в условиях пожара, кардинально меняется, поскольку в результате диффузии и коагуляции частиц возникает неоднородная дисперсная смесь. Высокая концентрация частиц тонкодисперсной фракции в ходе коагуляционных столкновений ведет их проникновению в структуры, образующихся

из более крупных частиц продуктов горения. Поскольку ранее выполненные оценки показывают, что в составе продуктов горения наблюдается повышенное содержание интенсивно поглощающих видимый спектр частиц, приближающихся по своим поглощающим свойствам к саже, то их взаимодействие на стадии дымообразования с умеренно поглощающими частицами пиролизного дыма ведет к заметной изменчивости оптической плотности по спектру размеров этих частиц. В таблице представлены интегральные параметры дисперсного состава и значения показателя поглощения  $\chi$ , связанного с коэффициентом поглощения для различных фракций смешанного дыма. Связь между коэффициентом поглощения и оптической плотностью дыма, определяющей видимость на пожаре, определена для интегральной модели в [2] уравнением (1).

Таблица. Показатели поглощения для микро-, средне- и крупнодисперсных фракций смешанного дыма

$t$ $\tau$	Микродисп. фракция, нм	Среднедисп. фракция, нм	Крупнодисп. фракция, нм	$N \cdot 10^{-4}$ , $1/\text{см}^3$	$S \cdot 10^{-2}$ , $\text{мкм}^2/\text{см}^3$	$V \cdot 10^{-2}$ , $\text{мкм}^3/\text{см}^3$	$r_{\text{эф}}$ , нм
1,9	30÷100 $\chi=1,93$	101÷412 $\chi=0,492$	413÷1920 $\chi=0,003$	12,0	17,4	32,2	556
4,2	30÷98 $\chi=1,72$	99÷419 $\chi=0,564$	420÷1540 $\chi=0,007$	9,37	13,2	22,7	517
8,6	30÷97 $\chi=1,72$	98÷423 $\chi=0,861$	424÷1540 $\chi=0,012$	6,91	8,9	13,2	445

Как следует из таблицы, дымовая смесь, образующаяся в результате одновременного протекания пиролиза пожарной нагрузки и ее пламенного горения, содержит одновременно в своем составе как существенно поглощающие видимое излучение частицы с  $\chi \sim 0,5 \div 1,9$ , так и существенную долю слабо- и умереннопоглощающих частиц с  $\chi \sim 0,003 \div 0,014$ . Причем влияние сильнопоглощающей сажевой компоненты в продуктах горения пожарной нагрузки наиболее значительно проявляется в составе частиц  $r < 450$  нм. Следует считать, что на стадии образования дыма смешанного состава микродисперсная фракция сильнопоглощающих сажевых частиц с размерами  $r \sim 30 \div 100$  нм и коэффициентом поглощения  $\chi \sim 1,6 \div 1,9$  проникает за счет коагуляции в состав более крупных слабопоглощающих пиролизных частиц и формирует дымовую смесь с монотонным убыванием показателя поглощения с ростом размеров частиц.

По результатам решения поставленной задачи с учетом полученных пофракционных значений показателя поглощения были определены распределения по размерам геометрического сечения частиц  $dS/dr$ , представленные на рис. 2:

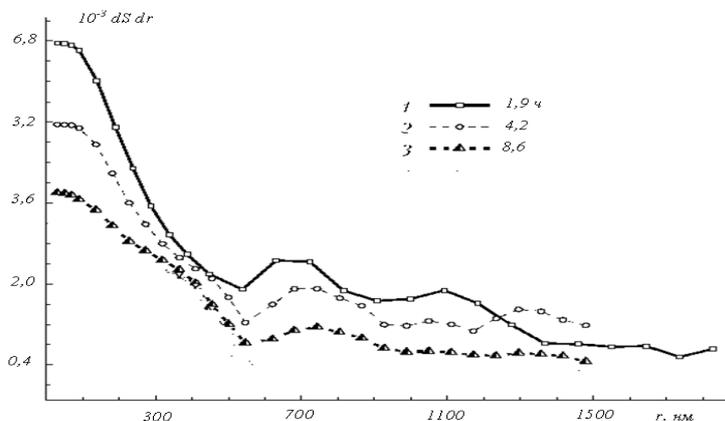


Рис. 2. Распределения геометрического сечения твердых частиц по размерам для аэрозоля, образующегося при одновременном пиролизе и пламенном горении пожарной нагрузки

Данные, представленные в [5], свидетельствуют о важной роли процесса образования сажи в динамике оптических свойств дыма смешанного состава на пожаре, поскольку она, являясь важным аэрозольным компонентом, определяет поглощающие свойства дымового аэрозоля в видимом диапазоне длин волн и вариации такой радиационно-значимой характеристики, как альbedo однократного аэрозольного рассеяния, используемой при оценке аэрозольного радиационного форсинга. Результаты выполненных исследований показали, что основным источником поступления сажи в атмосферу на пожаре являются процессы пламенного высокотемпературного горения пожарной нагрузки. По данным импакторных измерений [2] установлено, что относительное содержание сажи в продуктах горения на пожаре, пропорциональное в приближении присутствия сажи в частицах в качестве внутренней смеси показателю поглощения  $\chi$ , монотонно уменьшается с ростом размера частиц и эта зависимость достаточно удовлетворительно описывается экспоненциальной функцией.

Таким образом, на начальной стадии формирования дыма на пожаре образуется неоднородная дисперсная смесь со значительным изменением показателя поглощения по трем дисперсным фракциям, что можно объяснить протеканием процесса интенсивной коагуляции тонкодисперсной сажи с более крупными частицами.

Поглощающая способность аэрозольных частиц дымов смешанного состава, в значительной степени определяющая видимость в условиях пожара, непостоянна по спектру размеров и уменьшается с укрупнением твердых частиц. Это дает основание полагать, что поглощающие свойства дымов смешанного состава во многом формируются в ходе физико-химических процессов, протекающих при сгорании пожарной нагрузки. При этом сажа, генерируемая совокупностью антропогенных процессов высокотемпературного горения углеводородных материалов, составляющих основную массу пожарной нагрузки, мигрирует из микродисперсного диапазона частиц и неоднородно распределяется по всему спектру размеров.

Долговременная динамика микрофизического состава дыма на пожаре в значительной степени обусловлена действием коагуляционного механизма перераспределения сажи по размерам за счет проникновения микродисперсной сажи в более крупные частицы, при этом взаимодействие сажи и умеренно поглощающих дымовых частиц может привести к формированию сложных дымовых смесей не только по спектру размеров, но и с заметной вариацией других постоянных по фракциям.

## Литература

1. Tamura G.T. Smoke Movement and Control in High Rise Buildings. Национальная ассоциация пожарной безопасности. Куинси, 1994.
2. Guan H.Y., Kwok K.Y. Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering // Theory, Modeling and Practice, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science and Technology. 2009.
3. Макиенко Э.В. Некоторые методические дополнения к решению обратной задачи для восстановления параметров дисперсной структуры дымов смешанного состава // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 3. С. 183–190.
4. Зуев В.Е., Наац И.Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 182. 195 с.
5. Сакерин С.М., Веретенников В.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М. Сравнительный анализ радиационных характеристик аэрозоля в ситуациях дымов пожаров в обычных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 6. С. 451–461.
6. Макиенко Э.В., Наац Э.В. Обратные задачи аэрозольного светорассеяния применительно к лазерной локализации атмосферных загрязнений приземного слоя // Проблемы дистанционного зондирования атмосферы. Томск: изд-е ИОА СО АН СССР, 1976. С. 42–51.
7. Рахимов Р.Ф., Козлов В.С., Шмаргунов В.П. О временной динамике комплексного показателя преломления и микроструктуры частиц по данным спектрофелометрических измерений в смешанных дымах // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 10. С. 887–896.

# СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕРОВНЫМ ДОРОГАМ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

**К.С. Иванов, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проанализированы источники динамического нагружения пожарных автомобилей при их движении по дорогам. При этом интенсивность динамических нагрузок в основном зависит от характеристик микропрофиля дорог, скорости движения, конструкции и динамических свойств пожарных автомобилей. При достижении динамическими нагрузками предельных значений могут происходить отказы агрегатов или перевозимого оборудования, а это, в свою очередь, приводит к необходимости в процессе разработки пожарных автомобилей принимать меры по снижению их динамической нагруженности.

*Ключевые слова:* динамические нагрузки, дисперсия, среднеквадратическое отклонение ускорений, доверительная вероятность, коэффициенты

## THE NEED TO REDUCE THE DYNAMIC LOADS OF FIRE TRUCKS WHEN DRIVING ON UNEVEN ROADS

K.S. Ivanov. Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia

The sources of dynamic loading of fire trucks during their movement on the roads. The intensity of dynamic loads mainly depends on the characteristics of the microprofile of roads, speed, design and dynamic properties of fire trucks. When dynamic loads reach the limit values, failures of units or transported equipment can occur, and this, in turn, leads to the need in the process of developing fire trucks to take measures to reduce their dynamic loading.

*Keywords:* dynamic loads, dispersion, standard deviation of accelerations, confidence probability

Успешная эксплуатация агрегатов автомобильных базовых шасси пожарно-спасательных автомобилей (ПСА) при использовании образцов по прямому назначению возможна только при условии, что ПСА оборудован подвеской, эксплуатационные параметры которой соответствуют допустимой интенсивности динамических нагрузок, возникающих при движении по дорогам с различным качеством дорожного покрытия.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что колебания шасси, вызванные неровностями дороги, оказывают значительное влияние на все основные эксплуатационные характеристики ПСА, при этом динамические перегрузки приводят к существенному снижению надежности техники и оборудования, а, следовательно, и эффективности выполнения задач.

В случае, когда автомобильные базовые шасси разрабатываются непосредственно для монтажа специального пожарно-спасательного оборудования, задача снижения негативного воздействия динамических нагрузок на элементы агрегатов может решаться путем применения виброзащитных систем, которые позволят предотвратить или снизить воздействие динамических нагрузок как в нормальных режимах работы, так и в экстремальных. Кроме того, ПСА эксплуатируются в весьма разнообразных режимах, для которых характерны как детерминистические, так и статистические виды возмущений. Поэтому в общем случае оптимальные характеристики защитных систем должны определяться для каждого режима возмущения [1].

Процессы динамических нагрузок (ускорений), действующих на ПСА при движении по дорогам, можно рассматривать как нормальные, стационарные, эргодические случайные процессы [1]. При этом определение максимальных динамических нагрузок должно проводиться на основе статистических методов. Применение детерминистических подходов, например, методов гармонического анализа или правила «трех сигм», применяемого в теории вероятностей, как правило, приводит к существенным погрешностям [2, 3].

Рассматриваемая задача может быть решена на основе теории выбросов случайных процессов за заданный уровень.

Предположим, что процессы ускорений ПСА центрированы, то есть  $m_{\ddot{z}} = 0$ . Тогда среднее число превышений  $R_{\alpha}$  процессом  $\ddot{z}(t)$  уровня  $\ddot{z}_{\alpha}$  в единицу времени может быть определено по выражению [4]:

$$R_{\alpha} = \frac{\sigma_{\ddot{z}}}{2\pi\sigma_{\ddot{z}}} e^{-\frac{\ddot{z}_{\alpha}^2}{2\sigma_{\ddot{z}}^2}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\ddot{z}}$  – производная процесса ускорений  $\ddot{z}(t)$ .

За время  $T$  среднее число выбросов ускорений за уровень  $\ddot{z}_{\alpha}$  будет равно:

$$n_{\alpha} = R_{\alpha} T. \quad (2)$$

При больших значениях уровня  $\ddot{z}_{\alpha} = \ddot{z}_{max}$  выбросы за него процесса  $\ddot{z}(t)$  можно считать независимыми редкими событиями. В этом случае можно полагать, что число выбросов  $n_{\alpha}$  подчинено закону Пуассона [7]:

$$P_n = \frac{n_{\alpha}^m}{m!} e^{-n_{\alpha}},$$

где  $P_n$  – вероятность того, что за время  $T$  произойдет  $m$  выбросов процесса ускорений  $\ddot{z}(t)$  за уровень  $\ddot{z}_{max}$ .

Тогда, очевидно, вероятность  $P_0$  того, что за время  $T$  не произойдет ни одного выброса, будет равна:

$$P_0 = e^{-n_{\alpha}}.$$

Откуда:

$$n_{\alpha} = -\ln P_0. \quad (3)$$

Тогда с учетом зависимостей (1), (2), (4) получим:

$$\frac{T\sigma_{\ddot{z}}}{\sigma_{\ddot{z}}} e^{-\frac{\ddot{z}_{max}^2}{2\sigma_{\ddot{z}}^2}} = -2\pi \ln P_0.$$

Откуда после выполнения необходимых преобразований получим:

$$\ddot{z}_{max} = \sigma_{\ddot{z}} \left( 2 \ln \frac{T\sigma_{\ddot{z}}}{2\pi\sigma_{\ddot{z}} \ln \frac{1}{P_0}} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Отношение  $\frac{\sigma_{\ddot{z}}}{\sigma_{\ddot{z}}}$  представляет собой эффективную частоту  $\nu_{\ddot{z}}$  процесса  $\ddot{z}(t)_0$ .

В настоящее время на существующих и вновь разрабатываемых агрегатах, как правило, применяются пассивные виброзащитные системы [5, 6], в состав которых входят широко распространенные металлические, пневматические или гидравлические упругие и демпфирующие элементы.

При движении пожарных автомобилей по дорогам на их конструктивные элементы действуют весьма интенсивные динамические нагрузки, величины которых могут превзойти допустимые значения (например, допустимые ускорения  $\ddot{z}_{\text{доп}}$ ). В связи с этим режимы движения пожарных автомобилей должны выбираться такими, чтобы максимальные расчетные значения ускорений  $\ddot{z}_{\text{max}}$  конструктивных элементов, чувствительных к динамическим нагрузкам, не превосходили бы допустимых величин, то есть должно соблюдаться условие:

$$\ddot{z}_{\text{max}} \leq \ddot{z}_{\text{доп}} . \quad (4)$$

В статистическом смысле условие (4) может быть записано в виде:

$$\sigma_{\ddot{z}} \leq \sigma_{\ddot{z}_{\text{доп}}} , \quad (5)$$

где  $\sigma_{\ddot{z}_{\text{доп}}}$  – допустимое среднеквадратическое отклонение ускорений.

Величина допустимой дисперсии  $D_{\ddot{z}_{\text{доп}}}$  определяется выражением:

$$D_{\ddot{z}_{\text{доп}}} = \frac{\ddot{z}_{\text{доп}}}{\left[ \frac{2 \ln \frac{TV_3}{2\pi i n \frac{1}{P_0}}}{1} \right]^{\frac{1}{2}}} , \quad (6)$$

где  $P_0$  – доверительная вероятность, при которой выполняется условие (4).

Вероятность  $P_0$  может рассматриваться как вероятность безотказной работы конструкции автомобиля при движении по дорогам, исходя из условия не превышения действующими динамическими нагрузками со средними квадратическими отклонениями допустимых пределов  $\ddot{z}_{\text{доп}}$  в течение времени  $T$ . При этом:

$$T = \frac{L}{v} , \quad (7)$$

где  $L$  – пробег автомобиля по дороге данного типа.

Рассмотрим методику определения максимально допустимых скоростей движения пожарных автомобилей по дорогам при условии не превышения действующими на автомобиль динамическими нагрузками со средними квадратическими отклонениями  $\sigma_{\ddot{z}_{\text{доп } i}}$  допустимых пределов  $\ddot{z}_{\text{доп } i}$ . В основу методики могут быть положены условие (5) и зависимость (6).

Далее необходимо определить зависимость допустимого среднего квадратического отклонения  $\sigma_{\ddot{z}_{\text{доп } i}}$  в зависимости от скорости при движении пожарных автомобилей по  $i$ -ому типу дороги. Для этого подставим (6) в (5).

Тогда получим:

$$\sigma_{\ddot{z}_{\text{доп } i}} = \frac{\ddot{z}_{\text{доп}}}{\left[ \frac{2 \ln \frac{L_i V_3}{2\pi V_i i n \frac{1}{P_0}}}{1} \right]^{\frac{1}{2}}} .$$

Анализ показывает, что пожарные автомобили типа АЦ-2,5/40 (131) 548 с колесной формулой 6x6 по условиям динамического нагружения оборудования и водителя может двигаться по разбитой грунтовой дороге со скоростью, как правило, не более 20–25 км/ч. При больших скоростях движения с высокой вероятностью ( $P_0 = 0,95$ ) возможно превышение динамическими нагрузками допустимых пределов ( $\ddot{z}_{\text{доп}} = 25 \text{ м/с}^2$  (2,5g)). В аналогичных условиях скорости движения многоопорных пожарных автомобилей (например, АА-15/80-100/3 (790912) ПМ- 539) могут быть и более 60 км/ч.

При известных максимально допустимых скоростях движения пожарных автомобилей по  $i$ -м типам дорог  $V_{доп i}$  могут быть определены средние скорости движения  $V_{ср}$ .

При этом:

$$V_{ср} = \frac{1}{\sum \frac{P_{ni}}{b_i V_{доп i}}},$$

где  $P_{ni}$  – коэффициенты распределения пробега по различным дорогам;  $b_i$  – коэффициенты, зависящие от типа дорог и географических условий [4]:  $b_i=0,35-0,65$ .

Скорости движения пожарных автомобилей по неровным дорогам могут также ограничиваться «пробоями» упругих элементов подвески, которые приводят к резкому возрастанию динамических нагрузок.

Условия «пробоев» упругих элементов могут быть записаны в виде [7]:

$$f_{max} \leq f_{доп} \quad (8)$$

или

$$\sigma_f \leq \sigma_{f доп},$$

где  $f_{max}$  – максимальный динамический прогиб упругих элементов подвески;  $f_{доп}$  – допустимый динамический прогиб;  $\sigma_f$  – среднее квадратическое отклонение прогибов упругих элементов подвески при движении ПСА по дороге;  $\sigma_{f доп}$  – допустимое среднее квадратическое отклонение прогибов упругих элементов, при котором с вероятностью  $P_0$  условие (8) будет выполнено, то есть «пробой» не произойдет.

Зависимость для среднего квадратического отклонения  $\sigma_{f доп}$  при условии центрирования процесса динамических прогибов упругих элементов подвески  $f(t)_д$  с учетом (7) получим:

$$\sigma_{f доп i} = \frac{f_{доп}}{\left[ \frac{2 \ln \frac{L_i V \Delta f_i}{2 \pi V_i \ln \frac{1}{P_0}}}{1} \right]^{\frac{1}{2}}},$$

Графики показывают, что в рассматриваемом случае по условию «пробоев» упругих элементов подвески скорость ПСА не должна превышать 25–30 км/ч, то есть эта скорость несколько больше допустимой скорости по величинам динамических нагрузок ПСА (рисунок).

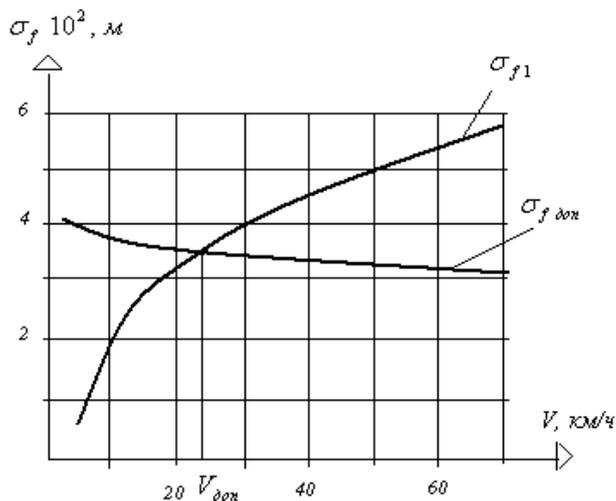


Рис. Зависимость средних квадратических отклонений прогибов упругих элементов подвески ПСА от частоты дорожных возмущений

Рассмотренные методы позволяют на основе теоретических подходов определить характеристики динамических нагрузок, действующих на пожарные автомобили при движении по различным дорогам, в том числе максимальные их значения, определить максимально допустимые и средние скорости движения автомобилей. На основе предложенной методики могут быть определены пути снижения динамических нагрузок, действующих на пожарные автомобили. Уменьшение динамических нагрузок и, как следствие этого, увеличение скоростей движения пожарных автомобилей по неровным дорогам может быть достигнуто, в первую очередь, за счет совершенствования их динамических систем, систем подвески моторно-ходовых баз и упругого закрепления оборудования пожарных автомобилей.

Таким образом, методика обоснования предельно допустимых скоростей движения пожарных автомобилей по дорогам позволяет определить допустимые скоростные режимы их движения по неровным проселочным дорогам, исходя из условий их динамического нагружения.

### **Литература**

1. Статистическое исследование возмущающих функций дорог / Е.В. Грачев [и др.] // Автомобильная промышленность. 1969. № 12.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов, 10-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2004. 479 с.
4. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968.
5. Теория механизмов и деталей машин / Фролов К.Ф. [и др.] // М.: Высшая школа. 2001.
6. Эксплуатация пожарной техники / Яковенко Ю.Ф. [и др.] // Справочник. М.: Стройиздат, 1991. 415 с.
7. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля и его колебания. М.: Машиностроение, 1972.

## **АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**А.С. Поляков, доктор технических наук;**

**А.С. Константинова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности горения и тушения нефтепродуктов с помощью порошковых огнетушащих средств, основные свойства огнетушащих порошков. Проведен анализ нормативного регулирования порошкового пожаротушения. Рассмотрено влияние дисперсного состава порошка на особенности подачи его в очаг пожара, проанализированы характерные черты различных способов подачи огнетушащих порошковых составов в очаг пожара. Сформулированы задачи в области изучения корреляции дисперсного состава огнетушащих порошков и их огнетушащих свойств, решение которых позволит повысить эффективность порошкового пожаротушения на объектах нефтегазового комплекса.

*Ключевые слова:* огнетушащие порошковые составы, дисперсный состав, ручные порошковые огнетушители, нормативное регулирование порошкового пожаротушения

# ACTUAL RESEARCHING DIRECTIONS OF DRY CHEMICAL POWDERS DISPERSE COMPOSITION INFLUENCE ON EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING PETROLEUM DERIVATIVES

A.S. Polyakov; A.S. Konstantinova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article describes the features of combustion and extinguishing of petroleum derivatives using powder fire extinguishing agents, the main properties of dry chemical powders. The analysis of normative regulation of powder fire extinguishing is carried out. The influence of dry chemical powders disperse composition on the features of its supply to the fire is considered, the characteristic features of different dry chemical powders supplying ways to the fire are analyzed. The tasks in the field of researching the correlation of dry chemical powders dispersed composition and their fire extinguishing properties, the solution of which will improve the efficiency of powder fire extinguishing at the facilities of the oil and gas complex, are formulated.

*Keywords:* dry chemical powders, disperse composition, hand powder fire extinguishers, standard regulation of powder fire extinguishing

Огнетушащие порошковые составы (ОПС) являются универсальным огнетушащим веществом (ОВВ). Эта способность позволяет им найти применение в различных областях – от использования в быту для защиты личного имущества населения до защиты объектов транспорта (автомобильного, железнодорожного, водного, подземного) или энергетики, в частности объектов нефтегазового комплекса.

При выборе порошка для защиты объектов нефтегазового комплекса учитывается, как правило, только класс порошка (применяются порошки общего назначения). Остальные характеристики порошка не принимаются во внимание, хотя огнетушащие свойства порошков в пределах одного класса могут сильно различаться. Подбор огнетушащего порошкового состава с оптимальными свойствами для тушения пожаров нефтепродуктов представляет собой актуальную задачу.

Целью статьи является формулировка задач в области изучения корреляции дисперсного состава огнетушащих порошков и их огнетушащих свойств, решение которых позволит повысить эффективность порошкового пожаротушения на объектах нефтегазового комплекса.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- рассмотреть особенности горения и тушения нефтепродуктов с помощью порошковых огнетушащих средств;
- рассмотреть основные свойства огнетушащих порошков;
- провести анализ нормативного регулирования в области порошкового пожаротушения;
- рассмотреть влияние дисперсного состава порошка на особенности подачи его в очаг пожара;
- проанализировать характерные черты различных способов подачи ОПС в очаг пожара.

## **Особенности горения и тушения нефтепродуктов**

Углеводородный пожар имеет характерные особенности, которые резко отличают его от других видов пожаров:

- высокая скорость распространения пламени вдоль поверхности горючей жидкости или по паровоздушным облакам;
- быстрый подъем и высокая температура газовой среды (достигает 1 000–1 200 °С менее чем за 10 мин.);
- вероятность взрыва паровоздушной смеси;

– избыточное давление при сгорании паровоздушного облака.

Из перечисленных особенностей углеводородного пожара следуют требования к их тушению:

– применение первичных средств пожаротушения (в том числе порошковых огнетушителей) имеет смысл только на начальном этапе пожара, когда площадь горения относительно мала (как правило, для горючих жидкостей, температура вспышки которых выше температуры окружающей среды) [1];

– при распространении горения на значительную площадь тушение следует производить объемным способом.

При тушении пожара нефтепродуктов с помощью ОПС реализуются все механизмы прекращения горения:

– механический срыв пламени струей ОПС;

– охлаждение зоны горения за счет затрат выделяющейся тепловой энергии на нагрев и испарение частиц ОПС;

– изоляция очага от кислорода воздуха и разбавление горючей среды за счет создания облака из газообразных продуктов разложения порошка;

– гомогенное (продуктами испарения или разложения порошка) и гетерогенное (обрыв цепей на поверхности частиц порошка) ингибирование процесса горения;

– возникновение эффекта огнепреграждения при прохождении фронта пламени в узких каналах между частицами ОПС в облаке.

### **Свойства огнетушащих порошков**

ГОСТ 4.107-83 [2] устанавливает такие показатели качества огнетушащих порошков как:

– огнетушащая способность;

– текучесть;

– кажущаяся плотность;

– устойчивость к термическому воздействию;

– устойчивость к вибровоздействиям и тряске;

– показатель слеживаемости;

– срок сохраняемости и др.

Свойства огнетушащих порошков определяются их физико-химическими характеристиками – химическим составом негорючей основы, количеством и видами добавок, дисперсным составом и др. Негорючую основу порошков для тушения пожаров класса А составляют фосфорно-аммонийные соли, которые способны образовывать на поверхности горящего вещества плёнку, обеспечивающую изоляцию его от кислорода воздуха, что способствует тушению тлеющих материалов. При этом недостатком порошков на основе фосфорно-аммонийных солей является сравнительно высокая гигроскопичность и низкая устойчивость к слеживаемости.

При тушении пожаров класса В1, к которым относится горение нефтепродуктов, нет необходимости в образовании изолирующей плёнки. Это дает возможность использовать порошки на основе бикарбоната натрия или хлоридов щелочных металлов, которые мало пригодны для тушения пожаров класса А, но оказываются более эффективными для тушения нефтепродуктов за счет других характеристик [3].

Увеличение текучести, устойчивости к вибро- и термо- воздействиям, снижение гигроскопичности и слеживаемости достигается введением в состав порошка добавок – аэросила, стеарата цинка, кремнийорганических жидкостей, алюмосиликатов, талька, графита и др.

Анализ нормативного регулирования порошкового пожаротушения показывает, что информация о дисперсном составе порошка никак не используется для решения задачи оптимального выбора вида огнетушащего порошка для конкретного объекта защиты. Более того, согласно техническим условиям производителей дисперсный состав огнетушащих порошков может находиться в достаточно широком диапазоне (таблица).

Таблица. **Примеры дисперсного состава огнетушащих порошков**

№ п/п	Марка порошка	Производитель	Количество частиц размером, %	
			более 100 мкм	менее 50 мкм
1.	Вексон-АВС 25	ЗАО «Экохиммаш», г. Буй Костромской обл.	27 +/- 8	50 +/- 8
2.	Вексон-АВС 50		23 +/- 8	55 +/- 8
3.	Волгалит-АВС	ЗАО «ВВП», г. Нижний Новгород	не более 25	не более 60
4.	Иркут	ООО «ВДПО», г. Омск	не более 35	не менее 45
5.	П-АГС	ГУП «Ленинск-Кузнецкий», завод шахтного пожарного оборудования, г. Ленинск-Кузнецкий Кемеровской обл.	не более 20	не более 30
6.	Феникс АВС-40	г. Сергиев Посад Московской обл.	–	менее 70...80
7.	Фоскон 433 ВСЕ	ЗАО «ФК», г. Буй Костромской обл.	30	–

При контроле дисперсного состава огнетушащих порошков возникают объективные трудности, обусловленные способом их производства. Наиболее распространены способы, основанные на использовании размольного оборудования. Основные технологические операции включают в себя сушку основных компонентов, их измельчение, классификацию по гранулометрическому составу, гидрофобизацию, термообработку, смешивание с опудривающими добавками.

Определение дисперсного состава порошка производят путем ситового анализа [4, 5]. Пробу порошка просеивают через набор сит, определяют процентный остаток на каждом из них по отношению к весу исходной пробы. Способ пригоден для частиц размером более 50–100 мкм, при уменьшении частиц порошков до 40 мкм и менее применение способа затруднено.

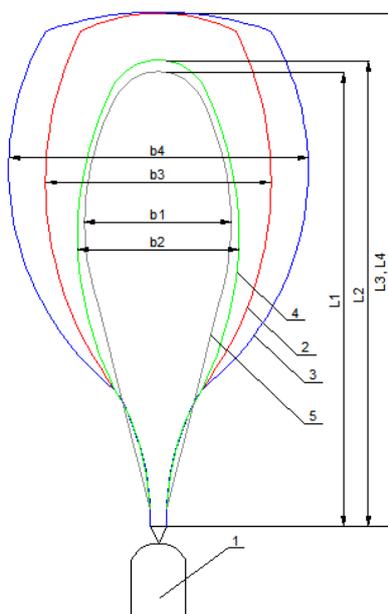
ГОСТ Р 53280.4-2009 [6] в части дисперсного состава порошка устанавливает единственное требование: при ситовом анализе массовое количество остатка порошка на сите с сеткой № 05 К по ГОСТ 6613-86 [4] не должно отличаться от заявляемой производителем величины более чем на 10 % (по массе) при полном отсутствии порошка на сите 1 000 мкм. Таким образом, касательно содержания различных фракций нормативные документы предоставляют производителю достаточную свободу при производстве порошка. Это приводит к тому, что свойства огнетушащего порошка одной марки могут иметь значительные отличия.

### **Влияние дисперсного состава порошка на особенности подачи его в очаг пожара**

Огнетушащая способность ОПС коррелирует с его дисперсным составом – чем больше значение удельной поверхности порошка, тем выше его огнетушащая способность. Данная зависимость не проявляется для порошков специального назначения, так как механизм их огнетушащего действия основан на изоляции горючего вещества от окислителя непосредственно слоем порошка. Для ликвидации горения органических жидкостей используют порошки объемного тушения, то есть зависимость огнетушащей эффективности от дисперсности порошка будет справедлива. При этом для частиц порошка размером менее 20 мкм возникают трудности в их доставке к очагу пожара. Дальность выброса струи порошка обеспечивается наличием в составе ОПС крупной фракции [7].

Геометрические параметры порошкового облака зависят от дисперсного состава порошка, применяемого в огнетушителе. Существует способ определения распределения массы частиц огнетушащего вещества в нестационарном газовом потоке [8]. Способ основан на осаждении частиц порошкового облака на бумажные подложки с фиксированными размерами сторон. Подложки располагаются с определенным шагом на прогнозируемой площади пожара. После осаждения частиц порошка самой мелкой

фракции определяют граничные линии осажденных частиц фракций и строят рисунок, иллюстрирующий распределение массы частиц огнетушащего порошка в газовом потоке (рис. 1).



**Рис. 1. Распределения массы частиц огнетушащего вещества в газовом потоке, изомассы (линии одинаковой массы):**

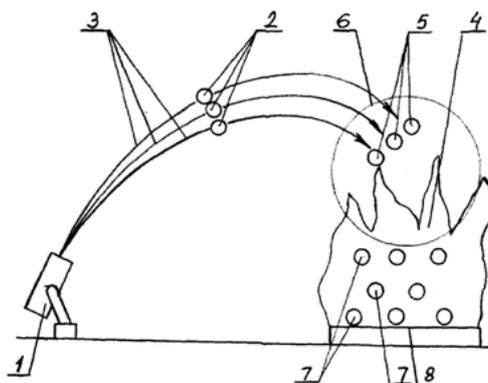
**1 – модель огнетушителя; 2 – граница огнетушащего веществ (нормированный состав); 3 – граница огнетушащего веществ (фракция № 1, например, 45–62 мкм); 4 – граница огнетушащего веществ (фракция № 2, например, 125–249 мкм); 5 – граница огнетушащего веществ (фракция № 3, например, 250–499 мкм)**

Из рис. 1 видно, что порошковые облака, образуемые частицами ОПС разных фракций, имеют отличия по форме и по длине струи ОТВ.

Согласно рекомендациям по работе с огнетушителем «... струю огнетушащего вещества необходимо направлять в основание пламени так, чтобы в зоне горения была наибольшая концентрация порошка», «... при выборе позиции для работы с порошковым огнетушителем следует учитывать, что наиболее эффективной позицией будет та, при которой очаг пожара накроется серединой пылевого облака» [9, 10]. При этом производитель не предоставляет данных о распределении частиц порошка в порошковом облаке, а также о расстоянии от среза запорно-пускового устройства (ЗПУ) огнетушителя, на котором порошковое облако достигнет максимального значения площади сечения в вертикальной плоскости. Таким образом, при работе с огнетушителем оператор должен подбирать оптимальное расстояние для работы, основываясь на собственном опыте. Однако необходимо учитывать тот факт, что в практической ситуации огнетушитель будет использоваться работником объекта защиты, первым обнаружившим очаг пожара. С большой долей вероятности он не будет иметь достаточного опыта работы с огнетушителем.

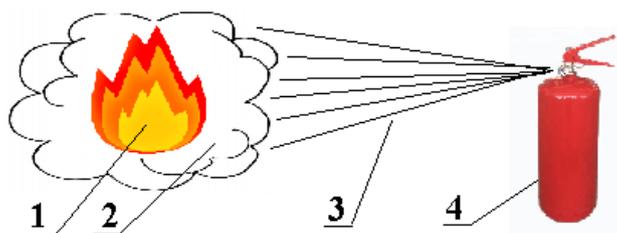
### **Характеристика способов подачи ОПС в очаг пожара**

Существуют разработки, позволяющие доставлять в очаг пожара оболочку с наноразмерным огнетушащим порошком с помощью метаемого средства [11]. Под воздействием высокой температуры газовой среды оболочка разрушается, обеспечивая подачу наноразмерного огнетушащего порошка в очаг пожара (рис. 2).

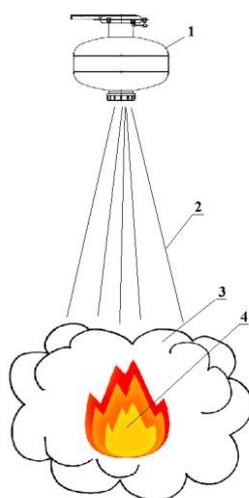


**Рис. 2. Схема реализации способа пожаротушения с помощью нанопорошка:**  
**1 – метательное устройство; 2 – капсулы с нанопорошком; 3 – навесная траектория полета капсул; 4 – зона горения; 5 – капсулы, вкрывшиеся в зоне горения; 6, 7 – капсулы, прошедшие зону горения неповрежденными и вскрывшиеся на горячей поверхности; 8 – горящая поверхность**

В настоящее время подобные разработки не получили широкого применения. В качестве наиболее распространенных средств порошкового пожаротушения, применяемых на объектах нефтегазового комплекса, можно назвать ручные и передвижные огнетушители (рис. 3), модульные установки пожаротушения (рис. 4), установки комбинированного пожаротушения (рис. 5).



**Рис. 3. Подача ОПС с помощью огнетушителя:**  
**1 – очаг пожара; 2 – порошковое облако; 3 – струя порошка; 4 – огнетушитель**



**Рис. 4. Подача ОПС с помощью модуля пожаротушения:**  
**1 – модуль порошкового пожаротушения; 2 – струя порошка; 3 – порошковое облако; 4 – очаг пожара**

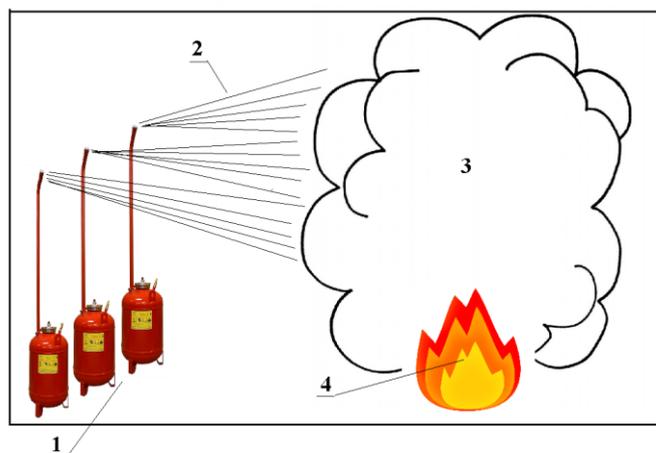


Рис. 5. Подача ОПС с помощью установки комбинированного пожаротушения: 1 – установка комбинированного пожаротушения; 2 – струя порошка; 3 – порошковое облако (в объеме защищаемого помещения); 4 – очаг пожара

Среди автоматических установок распространение получают комбинированные установки газопорошкового (Система ViZone, НПО «Каланча», Москва [12]) и аэрозольно-порошкового (ОПАН-100, ООО «ИВЦ Техномаш» [13]) тушения. Тушение производится путем заполнения свободного объема защищаемого объекта смесью порошка мелкодисперсной фракции и газа (аэрозоля). При таком способе подачи целесообразно использовать порошок как можно более мелкой фракции.

При защите объекта модульными установками пожаротушения необходимо учитывать тот факт, что на порошковую струю оказывают влияние конвективные потоки над очагом пожара. Частицы порошка мелких фракций будут отбрасываться восходящими потоками, что воспрепятствует их проникновению в зону горения [14].

При тушении очага пожара посредством ручного огнетушителя такой проблемы не существует, так как порошок подается в очаг пожара с боковой стороны под углом 20–30 °С. При этом восходящие конвективные потоки никак не влияют на струю ОПС. Значение приобретает дальность выброса ОПС, так как при тушении нефтепродуктов на оператора будет воздействовать интенсивное тепловое излучение.

В ходе анализа нормативного регулирования производства ОПС установлено, что фактически отсутствуют строгие требования к их дисперсному составу.

Рассмотренные в статье аспекты позволяют выделить следующие задачи, направленные на повышение эффективности тушения пожаров нефтепродуктов средствами порошкового пожаротушения:

- определить различия огнетушащих свойств ОПС одной марки различного дисперсного состава в пределах, допускаемых нормативными документами, рассмотреть возможность и целесообразность внесения изменений в нормативные документы, регулирующие дисперсный состав ОПС;

- установить зависимость оптимального расстояния до очага пожара нефтепродуктов при тушении ручным огнетушителем от дисперсного состава используемого порошка и рассмотреть возможности совершенствования рекомендаций по работе с порошковыми первичными средствами пожаротушения;

- разработать алгоритм подбора оптимального дисперсного состава огнетушащего порошка для различных способов подачи в очаг при пожаре нефтепродуктов.

### Литература

1. Кожевин Д.Ф., Новиков В.Р., Поляков А.С., Клейменов А.В. Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 1. С. 27–34.

2. ГОСТ 4.107-83. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200010247> (дата обращения 09.11.2018).
3. Порошковое пожаротушение. URL: <http://prom-nadzor.ru/content/poroshkovoe-rozharotushenie> (дата обращения 13.11.2018).
4. ГОСТ 6613-86. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004296> (дата обращения 09.11.2018).
5. ГОСТ 29234.3-91. Пески формовочные. Метод определения среднего размера зерна и коэффициента однородности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025388> (дата обращения 09.11.2018).
6. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Ч. 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200073277> (дата обращения 09.11.2018).
7. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982. 72 с.
8. Способ определения распределения массы частиц огнетушащего вещества в нестационарном газовом потоке: пат. RU 2516390, МПК G01N 15/00: Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. заяв. 30.11.2012 г.; опубл. 20.05.2014 г.
9. Огнетушители порошковые закачные. Фирма «Успех». URL: <http://uspeh92.ru/firefighting/extinguishers/dry> (дата обращения 12.11.2018).
10. ГУ МЧС России по Еврейской автономной области. Пожарно-техническое вооружение. URL: <http://79.mchs.gov.ru/document/595347> (дата обращения 12.11.2018).
11. Способ тушения пожара нанопорошком и устройство для его реализации: Пат. RU 2607770, МПК A62C 3/00, B82B 1/00. Забегаев В.И.; патентообладатель: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. №2015130120, заяв. 21.07.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1. 19 с.
12. Будыкина Т.А., Будыкина Т.Ю. Прогрессивные технологии и средства тушения пожаров на нефтебазах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 1. С. 132–144.
13. Серебrenников С.Ю., Прохоренко К.В., Чернов С.В., Грубиян М.Б. Повышение эффективности и экономичности пожарозащиты нефтегазовых объектов за счет замены газовых систем на аэрозольно-порошковые // Территория нефтегаз. 2011. № 12. С. 40–43.
14. Сабинин О.Ю. Оптимальные характеристики огнетушащих порошков и параметры их подачи для импульсных модулей порошкового пожаротушения: дис. ... канд. техн. наук. М. 2008.



---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ТОННЕЛЯХ

**Т.Т. Каверзнева, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.  
И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается задача распространения вредных веществ от источника, находящегося в глубине тоннеля, позволяющая по их концентрации на его выходе рассчитать и построить распределение зон опасных концентраций. Полученные результаты на основе восприятия запахов органами обоняния человека и данных, полученных контрольными приборами, сравнивались с результатами, прогнозируемыми с помощью методов построения нейросетевых и гибридных математических моделей.

*Ключевые слова:* загрязнение, защита, воздушная среда, тоннель, вентиляция, вредное вещество, зона, запах, человек, концентрация, модель

## THE USE OF HARMFUL SUBSTANCES IN UNDERGROUND TUNNELS

T.T. Kaverzneva. Saint-Petersburg Polytechnic University of Peter the Great.  
I.L. Skripnik. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article deals with the problem of harmful substances distribution from the source located in the depth of the tunnel, which allows to calculate and build the distribution of hazardous concentration zones by their concentration at its output. The results obtained, based on the perception of odors by the human sense of smell and the data obtained by the control devices, were compared with the results predicted by the methods of constructing neural network and hybrid mathematical models.

*Keywords:* pollution, protection, air environment, tunnel, ventilation, harmful substance, area, smell, person, concentration, model

В больших городах жители вынуждены жить в условиях неблагоприятного экологического воздействия. Уже стал привычным термин «загрязнения», отнесенный к целому ряду вредных факторов, оказывающих на человека негативное влияние.

Загрязнение воздушного и водного бассейна, шумовое, электромагнитное, тепловое – эти понятия стали привычно использоваться не только специалистами в своей области, но и в популярной литературе, и средствах массовой информации. Перечисленные выше все виды загрязнений, с которыми сталкивается человек, сокращают длительность его существования, трудоспособный период, снижают качество жизни, приводят к целому ряду серьезных заболеваний.

В своей профессиональной трудовой деятельности человек дополнительно может подвергаться воздействию большого количества опасных составляющих производственной

среды. Поэтому в данном направлении проводятся научно-исследовательские работы по подготовке новых способов и средств защиты человека.

Особенно актуально решение такой задачи в тоннелях без естественной вентиляции, к ним относятся тупиковые участки (например, тупиковые пути в метрополитене, используемые для очистки, дезинфекции, экипировки и ремонта вагонов), а также на этапе строительства тоннелей, когда сооружен только один портал (рис. 1).

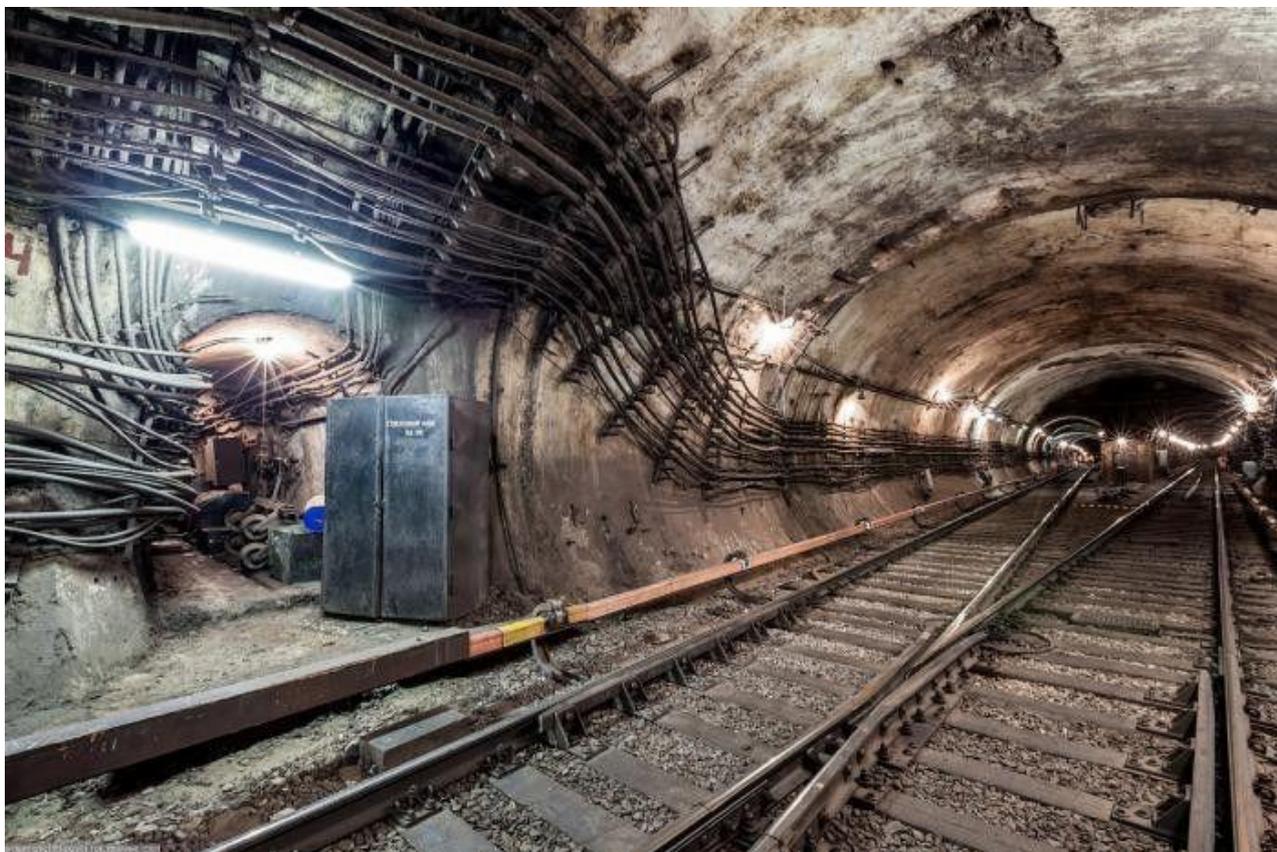


Рис. 1. Вид тоннеля

Одной из актуальных задач при строительстве тоннелей метрополитена, подземных автомобильных и железнодорожных магистралей для обеспечения безопасности проводимых работ является постоянный, непрерывный мониторинг воздушной среды, загрязненной в подземных сооружениях источниками разного характера и происхождения.

В основном данная задача по созданию благоприятной воздушной среды решается с применением оптимальной системы вентиляции. Однако на этапе строительства во внештатных ситуациях может потребоваться проведение комплекса ремонтных мероприятий в условиях отсутствия или отключения вентиляции. Нахождение обслуживающего персонала на большой глубине требует соблюдения необходимых параметров воздушной среды, что достигается выбором обоснованной инженерными расчетами кратности воздухообмена систем естественной и искусственной вентиляции. Чрезвычайные ситуации, случаи возгорания и тления, произошедшие за последние годы в тоннелях метрополитена, показывают, что даже кратковременный выход из строя системы вентиляции может приводить к гибели людей.

Для решения этой задачи используется комплекс организационно-технических мероприятий на основе результатов исследований, проводимых в горнодобывающей и транспортной областях. Эти мероприятия изменяются в зависимости от стадии жизненного цикла тоннеля: инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация. Для обеспечения безопасности работников, находящихся в тоннеле, важно иметь возможность (методику) прогнозирования распространения по тоннелю опасных концентраций вредных

веществ. Их нахождение в воздухе рассматриваемой области не должно превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК), установленную действующими нормативными документами [1].

Концентрация веществ, ограниченная данной характеристикой, не должна вызывать у обслуживающего персонала разного рода производственные заболевания и предпосылки к возникновению несчастных случаев на производстве. Работник должен оставаться здоровым вплоть до выхода на пенсию при соблюдении требований санитарных норм, несмотря на то, что он каждый рабочий день дышит воздухом, содержащим малые концентрации вредных веществ.

Для обеспечения безопасности работников, находящихся в тоннеле, от воздействия вредных веществ, находящихся в воздухе рабочей зоны, наиболее важно моделирование и мониторинг распространения по тоннелю вредных веществ в опасных концентрациях.

В качестве исходных данных принимается, что при отсутствии вентиляции для описания распространения вредных веществ по тоннельному каналу в первом приближении можно воспользоваться уравнением диффузии.

Для оперирования величинами, имеющими разную размерность, проведена их нормировка по длине тоннеля и коэффициенту диффузии.

Время, прошедшее с начала аварийной ситуации, также принимается за некоторую единицу. Считается, что в первоначальный период загрязнение отсутствует, то есть в качестве начального условия берётся  $u(x,0)=0$ . Принимается, что на левом конце (на входе в тоннель) концентрация загрязнений нулевая  $u(0,t)=0$ , а на правом (в точке нахождения источника загрязнения) она растёт с течением времени по закону  $u(1,t)=t$ .

Распределение загрязнений будет восстанавливаться по «измерениям» в  $m$  точках временного интервала  $0 \leq t \leq t_m$ , произведенных на расстоянии  $x = 0,1$  от входа в тоннель.

Поэтому рассматривается задача по распространению вредных веществ от источника, расположенного в глубине канала (тоннеля), позволяющая по концентрации вредного вещества на его выходе рассчитать и построить распределение зон опасных концентраций по каналу.

Исследования проводились по следующим направлениям [2]:

– на основе восприятия запахов органами обоняния человека, способными улавливать даже малые концентрации вредных веществ. Так как большинство вредных веществ имеет резкий неприятный запах, предполагаем, что диспетчер или другой работник на станции почувствует этот запах, но в то же время понимаем, что не во всех случаях можно полагаться на органы чувств;

– на основе данных возможных измерений концентрации вредных факторов контрольными приборами.

В результате получены области распространения вредных веществ в концентрациях, превышающих ПДК (при нормировке принятой за 0,1), по времени и по расстоянию в «реальной» ситуации, учитывая случайную погрешность. Полученные характеристики сравнивались с результатами, прогнозируемыми с применением способов построения нейросетевых и гибридных математических моделей в сложных технических системах [3].

Анализ результатов, полученных с помощью математических моделей, сравнивался с оценками практических измерений. Они показали, что при наложении областей распространения вредных веществ в концентрациях, превышающих ПДК, по времени и расстоянию в одной системе отсчета, в первом случае имеет место расхождение, объясняемое субъективностью восприятия человека вредных факторов (рис. 2), а во втором – данные области совпадают (рис. 3).

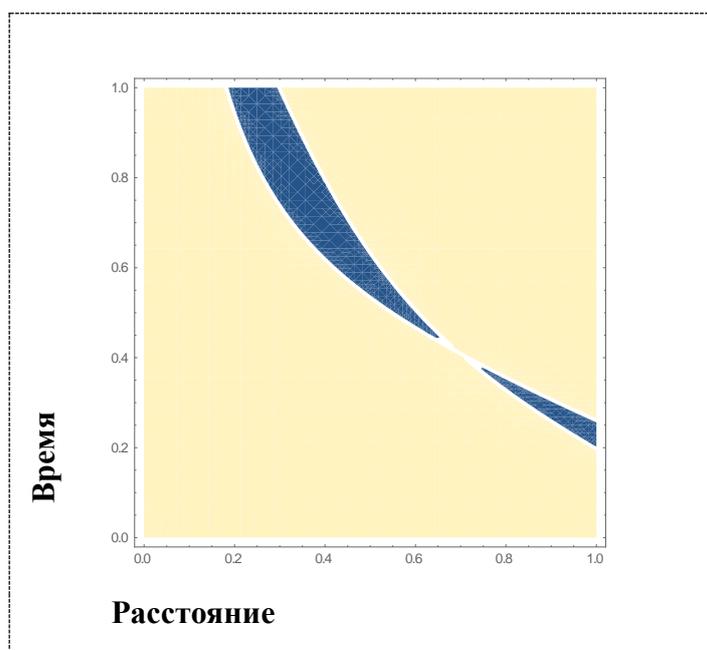


Рис. 2. Наложение областей распространения вредных веществ на основе обонятельной чувствительности человека

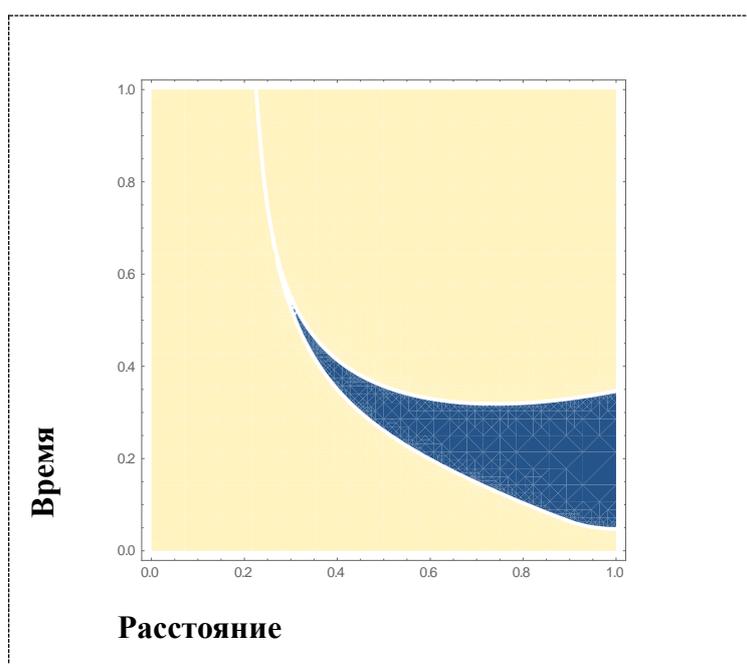


Рис. 3. Наложение областей распространения вредных веществ на основе данных измерений

Это доказывает адекватность и достоверность применения методов построения нейросетевых и гибридных математических моделей в сложных технических системах и возможность их использования в других предметных областях [4]. Более точные результаты получаются при использовании данных? полученных в результате измерений с помощью приборов или датчиков. В дальнейших исследованиях необходимо учесть объемное распространение и проведение нормировки по большему количеству разнородных параметров с учетом их коэффициентов весомости и рассмотреть наиболее значимые области тоннеля, в которых могут находиться вредные вещества с учетом физиологических данных человека.

## Литература

1. ГОСТ 12.1.005-88\*. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 09.11.2018).
2. Каверзнева Т.Т., Киреева Л.А., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Распространение загрязнений воздушной среды по тупиковому участку тоннеля при отключенной системе вентиляции // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 467–469.
3. Тархов Д.А., Каверзнева Т.Т., Лазовская Т.В., Идрисова Д.И. Нейросетевое моделирование распределения вредных веществ в тупиковом участке тоннеля: материалы XIX Междунар. конф. по вычислительной математике и современным прикладным программным системам (ВМСППС 2015). М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 176–178.
4. Сорокин А.Ю., Иванов А.В., Скрипник И.Л., Симонова М.А. Нейросетевое моделирование условий обеспечения электростатической искробезопасности процессов транспортировки модифицированных углеводородных жидкостей на основе экспериментальных данных // Науч. электронный журнал «Вестник Уральского института ГПС МЧС России». 2018. № 1 (18). С. 63–76.

## ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ КАФЕДР

**С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматриваются вопросы структуры, параметров учебно-материального обеспечения кафедры. Показываются возможности специализированных, показательных аудиторий и возможность проведения в них разных видов занятий по учебным дисциплинам.

*Ключевые слова:* кафедра, учебно-материальное обеспечение, аудитория, пособия, учебники, оборудование, стенды, технологические процессы, нефтепродукты, преподаватель, технические средства обучения

## THE ISSUES OF INTERACTION OF EDUCATIONAL-MATERIAL BASE OF THE DEPARTMENTS

S.V. Voronin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article deals with the structure, parameters of educational and material support of the Department. The possibilities of specialized, showy classrooms and the possibility of conducting different types of classes in academic disciplines are shown.

*Keywords:* Department, educational and material support, classroom, manuals, textbooks, equipment, stands, technological processes, petroleum products, teacher, technical training facilities

Одним из структурных подразделений университета, осуществляющим подготовку обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность» и «Техносферная безопасность», является кафедра «Пожарной безопасности технологических процессов и производств» (ПБТПиП).

Одним из направлений ее деятельности является оценка результатов подготовки обучающихся по преподаваемым дисциплинам в соответствии с компетенциями,

изложенными в Федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС). Важное значение в образовательной деятельности имеет обеспечение учебного процесса.

Эффективность обучения специалистов Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России неразрывно связана с развитием учебно-материальной базы (УМБ), которая состоит из:

- учебных аудиторий, лабораторий для подготовки отчетов по индивидуально-расчетным, графическим заданиям, виртуальным лабораторным работам, выпускным квалификационными работам;
- технических средств обучения (ТСО) и контроля: мультимедийный проектор, интерактивная доска, компьютерное оборудование, стенды;
- методического уголка, включающего в себя следующие материалы для проведения всех видов занятий: пособия, основные материалы учебно-методических комплексов (УМК), нормативная и руководящая литература.

Параметрами УМБ являются:

- комплектность и техническое состояние;
- применение ТСО в образовательном процессе;
- наличие УМК, его соответствие требованиям нормативных и руководящих документов.

Проведенный анализ мониторинга совершенствования УМБ ведущих вузов Российской Федерации показал, что наиболее эффективные методы подготовки высококвалифицированных специалистов появляются при взаимодействии профилирующих кафедр по направлениям подготовки с инженерными и юридическими [1].

Поэтому требуется комплексный и системный подход к решению этой задачи по определению влияния взаимодействия профилирующих кафедр на эффективность учебного процесса и на степень его соответствия требованиям ФГОС.

Для улучшения образовательного процесса проводится активная работа по организации взаимодействия УМБ кафедр ПБТПиП и криминалистики и инженерно-технических экспертиз (КиИТЭ), заключающаяся в реализации двух подходов:

- организация тесного взаимодействия научно-педагогического состава кафедр ПБТПиП и КиИТЭ при составлении тем для проведения занятий;
- создание специализированных аудиторий, совмещающих в себе информационно-справочные стенды данных кафедр.

На кафедре ПБТПиП находятся специализированные лаборатории и аудитории.

В аудиториях проводятся занятия с обучающимися по дисциплинам, изучаемым на четвертом и пятом курсах, позволяющим подготовить специалистов в области пожарной безопасности [2]. Главной целью изучения данных дисциплин является получение навыков определения оценки последствий чрезвычайных ситуаций и подготовки комплекса организационно-технических мероприятий по обеспечению промышленной и пожарной безопасности на действующих промышленных предприятиях.

В аудитории находится компьютерное оборудование, макет нефтеперерабатывающего завода, информационные стенды, содержащие информацию по принципиальным технологическим схемам:

- мукомольного производства;
- ТЭЦ (паровой котел);
- прядильного производства;
- установки каталитического крекинга с «кипящим» слоем пылевидного, термического катализатора; трубчатой печи;
- резервуара с понтоном, плавающей, стационарной крышей для хранения нефти; газгольдера;
- абсорбционной установки, вертикального адсорбера, шарового электродегидратора, колпачковой ректификационной колонны.

На компьютерном оборудовании обучающиеся выполняют:

- лабораторные работы;

- научные исследования.
- изучение нормативных документов;
- отработку вопросов выпускных квалификационных работ;

Для организации взаимодействия УМБ кафедр данную аудиторию необходимо дополнительно укомплектовать видеоматериалами кафедры КиИТЭ по проведению (расследованию) экспертиз и исследованию причин пожаров.

В другой аудитории обучающиеся имеют возможность:

- посмотреть учебные видеоматериалы и на информационных стендах получить информацию по: силовому и осветительному электрооборудованию, системе молниезащитных устройств, воздействию электрического тока на организм человека [3], электрическим сетям [4], пожароопасным явлениям [5], аппаратам защиты, пожароопасным и взрывоопасным зонам, маркировки проводов и кабелей, пожарозащищенному и взрывозащищенному электрооборудованию, нормативным документам;

- изучить:

- принципы действия и защитные характеристики аппаратов защиты;

- алгоритм измерения сопротивления изоляции электрооборудования;

- устройство защитного заземления и зануления с изолированной и заземленной нейтралью;

- порядок построения интегральной, зонной и полевой моделей опасных факторов пожара;

- критерии выбора моделей пожара для проведения расчетов.

- выполнить комплекс лабораторных работ по электротехнике и пожарной безопасности электроустановок.

Третья аудитория (рисунок) – специализированная аудитория, предназначенная для проведения лабораторных работ по разделам «Электротехника» и «Электроника». В состав лаборатории входят шесть комплектов учебного оборудования «Электрические цепи и основы электроники», исполнение стендовое компьютерное минимодульное (ЭЦиОЭ-СКМ).



**Рис. Специализированная аудитория для проведения лабораторных работ по разделам «Электротехника» и «Электроника»**

Лабораторный стенд позволяет изучить линейные и нелинейные электрические цепи постоянного и переменного тока, трехфазные электрические цепи, полупроводниковые приборы, аналоговые электронные устройства, основы цифровой техники.

Данные аудитории позволяют широко проводить активные, интерактивные виды занятий: лабораторные занятия (виртуальные, реальные), деловые игры.

При проведении занятий научно-педагогический состав (НПС) кафедры так же широко и активно использует ТСО – мультимедийный проектор с интерактивной доской.

ТСО в педагогической работе выполняют следующие функции:

– повышают доступность разных источников информации, обеспечивают наглядность её представления;

– ускоряют процессы изучения материала;

– увеличивают общекультурный уровень обучающихся;

– облегчают усвоение нового материала;

– активизируют готовность людей разных возрастов к самообразованию;

– сокращают противоречие между увеличивающимся массивом информации и сокращенным временем на её обработку.

К НПС кафедры при применении ТСО предъявляются следующие требования:

– оптимально использовать как отдельные ТСО, так и их комплексные комбинации;

– соблюдать логическую последовательность и ясность при показе видеоматериалов;

– обращать внимание обучающихся на главные признаки явлений при их комплексном изучении;

– выделять основное в содержании материала, при необходимости исключать из визуального и звукового сопровождения постороннюю информацию, отвлекающую внимание обучающихся;

– соотносить время воспроизведения и объяснения фрагментов учебного материала;

– не допускать перегрузки занятий видеоматериалами;

– приучать обучающихся к самостоятельной деятельности с использованием ТСО, уметь получать с их помощью новый материал для осмысления и его переработки;

– опережать своих обучающихся в вопросах изучения новой техники и ТСО, внедрять приобретенные знания в педагогическую работу НПС;

– быть эталоном высокой культуры для всех окружающих.

НПС должен помнить, что ТСО не заменяют его, как преподавателя, а лишь выполняют вспомогательную функцию.

На кафедре постоянно проводится работа по подготовке, грифованию и изданию учебных пособий (монографий, лабораторных практикумов), в которых содержится необходимая информация для приобретения обучающимися теоретических знаний, а также для получения и отработки практических навыков при решении задач по специальности. Данные пособия позволяют обучающимся, особенно по заочной дистанционной форме, получить дополнительные знания и, в то же время, они полезны самому НПС, особенно начинающим преподавателям и адъюнктам, проводящим педагогическую практику.

Подготовленная на кафедре УМБ позволяет обеспечить освоение основных дисциплин и соответствует компетенциям, установленным в ФГОС, для осуществления учебных занятий и выполнения научно-исследовательских работ.

Использование современного оборудования повышает качество учебного процесса на основе взаимодействия и дополнения учебно-материального обеспечения профилирующих кафедр и способствует подготовке высококвалифицированных специалистов ГПС МЧС России.

### **Литература**

1. Медведева Л.В., Макачук Г.В.. Теоретико-методологические основания организации мониторинга знаний обучающихся в техническом военном (военизированном) вузе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 2 (22). С. 50–57.

2. Медведева Л.В., Пермяков А.А. Теоретико-методологические аспекты и проблемы профессионализации инженерных кадров в техническом вузе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 1 (25). С.47–55.

3. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т., Сенченко В.А. Анализ рисков поражения людей электрическим током и возникновения пожара в различных схемах

электроснабжения здания // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2017. № 4 (166). С. 35–44.

4. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Технические решения задачи согласования критериев безопасности в электрических сетях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 2 (42). С. 110–117.

5. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчет вероятности возникновения пожара от электрического изделия // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 50–59.

## **РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ КАК ОДНА ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ**

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Раскрыты признаки творческого мышления и факторы его развития, необходимые детерминанты креативности; сущность и характеристики универсальной креативности; дидактический смысл гипотезы как центрального звена умственных операций; появление новой ментальной связи как результата инсайта в ходе решения задач исследовательского типа; сущность принципа гармоничного развития полушарий как ведущего принципа креативной педагогики. Приведены экспериментальные доказательства: зависимости уровня развития человеческого мозга от активности интеллектуальной деятельности человека; функционального диморфизма мозга.

*Ключевые слова:* творческое мышление, креативность, нейрон, синапс, глиальные клетки, гемисферология, интеллектуальная деятельность, креативная педагогика, интегральный взгляд на мир

## **CREATIVE THINKING DEVELOPMENT AS ONE OF THE PRIORITY EDUCATIONAL TASKS OF MODERN HIGHER SCHOOL**

L.V. Medvedeva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article reveals: signs of creative thinking and its development factors, necessary determinants of creativity; essence and characteristics of universal creativity; didactic meaning of the hypothesis as the main link of mental operations; appearance of a new mental connection as an insight result of research-type problems solving; the essence of the cerebral hemispheres harmonious development principle as the leading principle of creative pedagogy. Experimental evidence show depends between the human brain development level and human intellectual activity; functional dimorphism of the brain.

*Keywords:* creative thinking, creativity, neuron, synapse, glial cells, hemisferology, intellectual activity, creative pedagogy, an integral point of view

Задатки творческого мышления присущи любому нормальному человеку. Основными признаками творческого мышления могут являться [1]:

- цельность и объемность восприятия;
- оригинальность, гибкость и ассоциативность мышления;

- способность к свертыванию и развертыванию мыслительных операций, сближению понятий;
- способность к генерированию идей, прогнозированию;
- конвергентность и дивергентность мышления.

Уровень развития творческого мышления зависит от ряда факторов: исходных способностей, мотивации, трудолюбия, настойчивости, влияния внешней среды (в том числе и образовательной).

Творчество представляет собой явление, относящееся к конкретным субъектам и связанное с особенностями человеческой психики, закономерностями высшей нервной деятельности, умственного труда. В концепции креативной онтологии, развиваемой А.И. Субетто, творчество выделяется как ведущая функция в деятельности мозга, становлении психики и интеллекта. Природа и закономерности творчества были предметом пристального интереса ученых со времен древнегреческого математика Паппа. Проблемами творческого мышления интересовался Р. Декарт, а также Паскаль, Пуанкаре, Адамар, Б. Бальцано.

В настоящее время познание сущности и исследования закономерностей и условий творчества продолжаются в философии, акмеологии, психологии, педагогике, нейрофизиологии и др. Разным аспектам этой сложной проблемы, имеющей социальное значение, посвящены работы видных отечественных и зарубежных ученых: Г.С. Альтшуллера, С.И. Гессена, Р.М. Грановской, В.Н. Дружинина, В.В. Ильина, В.А. Кан-Калика, Н.Д. Никандрова, Н.В. Кузьминой, М. Зденека, Р.Л. Солсо, А.И. Субетто, Г.В. Суходольского, В.А. Извозчикова, Э. Боно и др.

Необходимыми детерминантами креативности (общих способностей к творчеству) как генетически обусловленными, так и приобретаемыми в процессе образования и развития, являются [1]:

- нейрофизиологическая структура и особенности функционирования головного мозга;
- структура психики;
- ментальная структура и особенности функционирования интеллекта;
- особенности протекания когнитивных процессов, характеристики мышления.

Следует отметить, что выделенные детерминанты образуют целостную биосоциальную систему и структурируются для удобства анализа.

В дидактическом аспекте предметный интерес для педагогов вызывает последовательность выводов, сделанных нейрофизиологами в нашем столетии. В 1911 г. основоположник нейроанатомии Сантьяго Рамон-и-Кахаль обнаружил, что количество соединений между нейронами (синапсов) является более существенным показателем гениальности, чем общее число нейронов (около 14 млрд. нейронов расположены в коре головного мозга группами, образуя нервные центры – корковые поля) [2].

В начале 80-х гг. нашего столетия нейроанатом Калифорнийского университета Марион Даймон, исследуя фрагменты мозга А. Эйнштейна, обнаружила в левом полушарии повышенное число глиальных клеток, обеспечивающих электрохимическое взаимодействие между нейронами. В последствие ей удалось установить, что количество межклеточных соединений может увеличиваться в стимулирующей развитие мозга среде, например, в результате активной интеллектуальной деятельности.

На основании серьезных экспериментальных исследований были сделаны чрезвычайно важные выводы.

Количество глиальных клеток может увеличиваться на протяжении всей жизни в результате умственного труда. При этом чем выше интенсивность интеллектуальной деятельности, тем больше возникает таких соединений. Становление этих связей имеет гораздо больше значение для развития интеллекта, чем количество нейронов в мозгу.

Таким образом, была обоснована принципиальная возможность увеличения исходных задатков к творчеству (исходного потенциала гениальности) в условиях интенсивной интеллектуальной деятельности.

Особое влияние на интеллектуальную деятельность оказывает функционирование больших полушарий коры головного мозга (левого и правого) [1, 3, 4]. Установлено, что в функциональном отношении полушария неравнозначны. Каждое полушарие имеет свою область «специализации» и обрабатывает информацию своим способом. Полушария связаны между собой, что позволяет им работать вместе, однако при выполнении определенных задач одно из них является ведущим (доминантным), а другое ведомым (субдоминантным) в зависимости от характера решаемой задачи.

Возникшая область знаний – гемисферология позволяет раскрыть функции «левого» и «правого мозга» и, соответственно, специфицировать различные навыки человека. Левое полушарие специализируется на логическом и аналитическом мышлении (рассудочное мышление) и последовательной обработке вербальной информации, а также контролирует речь. Правое полушарие специализируется на пространственно-образном мышлении, проявлении интуиции, воображения. Правое полушарие контролирует пространственную ориентацию, обеспечивает целостное восприятие действительности, параллельно обрабатывает поступающую информацию. Развитие правого полушария определяет творческие способности.

По мнению ряда исследователей [1–4] функциональный диморфизм мозга складывается постепенно в процессе эволюции. При этом правое полушарие является аккумулятором прошлого времени, а левое – аккумулятором будущего [5, 6]. Правое полушарие является более древним образованием, в котором на уровне бессознательного закрепляются наиболее древние архетипы. Функционально левое полушарие реализует формально-логические, рациональные механизмы обработки настоящего в реальном масштабе времени. Креативные механизмы правого полушария детерминируют процессы генерации идей, замыслов, инноваций, а левое полушарие реализует функции доказательства, обоснования, расчета, рационального объяснения.

В процессе мыслительной деятельности происходит непрерывный обмен информацией между правым и левым полушарием. При этом интенсивность данного обмена и пропускная способность канала межполушарной связи являются важными характеристиками универсальной креативности. Под термином «универсальная креативность» имеется в виду способность выполнять все мыслительные операции при решении задачи (проблемы): рациональные и иррациональные. В частности, к ним относятся: «видение» проблемы и постановка задачи, генерация идей, рефлексия, выдвижение и проверка гипотезы исследования, целенаправленный поиск оптимального решения в лабиринте возможностей [7, 9].

Творческое мышление, как правило, связывают не столько с решением уже поставленной кем-то задачи, сколько со способностью самостоятельно «увидеть» и сформулировать проблему: включиться в «осуществленное действие» над предметно-учебным материалом. Наиболее интенсивным обмен информацией между полушариями становится в условиях, когда познающему субъекту необходимо осуществить переход от фактов к построению абстрактной модели явления (от конкретного к абстрактному), а также переход от теоретического предвидения определенных закономерностей явления к его экспериментальной проверке (от абстрактного к конкретному).

Обучающийся отвечает на вопросы «почему?» и «как сделать?», то есть повторяет в учебно-познавательной деятельности путь ученого к открытию или изобретению. Поэтому решение творческих задач, по сути своей, есть разрешение учебных проблем, доведенное до стадии научного вывода (ответ на вопрос «почему?») или практической реализации (ответ на вопрос «как сделать?»).

Следует подчеркнуть, что в дидактическом смысле в качестве центрального звена умственных операций выступает гипотеза. При этом в учебном процессе имеют место

преимущественно феноменологические гипотезы, при выдвижении которых обучающиеся, опираясь на известные им факты, ограничиваются предсказанием внешнего поведения систем, протекания явления, процесса.

Однако как отмечает профессор В.А. Извозчиков: «При включении в процесс поиска возможна ориентация учащихся на репрезентативные гипотезы, то есть гипотезы, обращенные к внутренним механизмам процессов или явлений» [10]. В этой связи приоритетными становятся задачи исследовательского типа, которые не имеют жестких, заданных алгоритмов решения и содержат определенную степень рассогласования параметров.

В ситуации, когда цель деятельности определена, а средства ее достижения не определены, обучающийся вынужден проводить поиск оптимального варианта решения задачи в «лабиринте возможностей», в котором нет готовых рецептов для успешного выхода из проблемной ситуации. В этих условиях происходит осознание обучающимся потенциала собственных возможностей и механизмы его психических функций активизируются.

Появление идеи решения, его замысла многие исследователи рассматривают как следствие некоего скачка, инсайта (озарения), разрыва в непрерывной логике мышления [1, 11]. При этом проявляется действие подсознательных, иррациональных интуитивных механизмов, появляется новая ментальная связь. В тоже время закрепление, рационализация этой связи, зависимости, ее оценка являются результатом рационального мышления.

С другой стороны, не любой творческий результат рассматривается как полученный интуитивно, особенно если это касается индивидуума с преобладающим доминированием левого полушария. Размышляя о некоторой задаче и осознанно используя логические операции, такой человек, как правило, может получить решение с помощью пошагового движения в поле данной логики. В этом случае субъективным сигналом замыкания необходимой связи выступает результат определенных мыслительных операций.

Таким образом, в большинстве случаев синтез нового является результатом взаимодействия рационального и иррационального (интуитивного). Следовательно, механизму творческого мышления органически присущи интуиция и логика, взаимодействие сознания и подсознания.

Развитие потребности в творчестве обуславливает формирование интегрального взгляда обучающегося на содержание результатов дискретного преобразования информации и вычисленные отдельные признаки объекта (объектов) исследования («левое» полушарие), что имеет принципиальное значение в процессе становления миропонимания будущего специалиста. Интегральный взгляд позволяет «увидеть» целостный объект (объекты) исследования в его сложности, «скелете» и симметрии («правое» полушарие), оценить оптимальность его свойств с позиций общего миропонимания и мировоззрения человека как частицы природы.

В процессе становления интегрального взгляда на предметное содержание профессиональных проблем познающий субъект накапливает знания о мире профессии в правой половине мозга в виде целостной системы, а в левой эти знания классифицируются. При этом активный виртуальный диалог между двумя «компьютерами мозга» (В.А. Извозчиков) позволяет будущему специалисту приобрести способность творчески разрешать профессиональные проблемы и рефлексивно овладевать результатами творческих преобразований для достижения новых созидательных целей.

С этих позиций в образовательной среде должны быть обеспечены условия, в которых не нарушается гармония в работе полушарий и не осуществляется направленное воздействие только на левое полушарие. Именно с этих позиций один из принципов развивающего обучения и креативной педагогики – принцип гармоничного развития полушарий – должен стать одним из ведущих принципов профессионально направленного обучения учебной дисциплине (в том числе и естественнонаучной).

Это значит, что при изучении каждой дисциплины (в том числе и естественнонаучной) должны быть разработаны конкретные дидактические механизмы,

обеспечивающие смещение акцентов в сторону развития креативной направленности обучения. Принцип гармоничного развития полушарий для всех дисциплин предметной подготовки специалиста в вузе должен стать одним из регулятивов при разработке дидактических моделей, обеспечивающих развитие творческого потенциала обучающихся.

### **Литература**

1. Грановская Р.М., Березная И.Я. Интуиция и искусственный интеллект. Л.: ЛГУ, 1991.
2. Зденек М. Развитие правого полушария: пер. с англ. Минск: ООО «Попурри», 1997.
3. Розенберг В.С., Бондаренко С.М. Мозг. Обучение. Здоровье. М.: Просвещение, 1989.
4. Слободчиков В.И., Исаев Е.И. Основы психологической антропологии. Психология человека. Введение в психологию субъективности: учеб. пособие для вузов. М.: Школа-Пресс, 1995.
5. Субетто А.И. Творчество, жизнь, здоровье и гармония (этюды креативной онтологии). М.: Логос, 1992.
6. Субетто Александр Иванович. Библиография опубликованных работ. Избранные статьи. СПб–М., Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1997.
7. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1989.
8. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию изобретательских задач. Новосибирск: Наука Сиб. Отд., 1991.
9. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Сов. Радио, 1979.
10. Извозчиков В.А., Потемкин М.Н. Научные школы и стиль научного мышления. СПб. Образование, 1997.
11. Эсаулов А.Ф. Проблемы решения задач в науке и технике. Л.: ЛГУ, 1979.

## **ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ОСНОВЕ ЭМУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;**

**Т.А. Кузьмина, кандидат педагогических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Показано место лабораторного практикума во внеаудиторной самостоятельной работе обучающихся применительно к специфике учебного процесса пожарно-технических вузов и сформулированы требования к такой виртуальной лаборатории. Разработана схема виртуальной лабораторной установки и сформирована модель виртуального эксперимента по измерению степени черноты. Предложен алгоритм, позволяющий эмулировать параметры теплового излучения в ходе виртуального лабораторного эксперимента. Представлены варианты индивидуального задания на виртуальный лабораторный эксперимент, которое предлагается выполнить обучающимся в ходе внеаудиторной самостоятельной работы и примерное содержание отчета по его выполнению. Показан вариант реализации виртуальной лабораторной установки на основе табличного процессора MS Excel и макросов Visual Basic.

*Ключевые слова:* лабораторный практикум, лабораторная работа, самостоятельная работа, натурный эксперимент, виртуальный эксперимент, лучистый теплообмен, степень черноты, электронная таблица, табличный процессор

## VIRTUAL LABORATORY EXPERIMENT ON THE BASIS OF EMULIROVANIYA OF PARAMETERS OF THERMAL RADIATION

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; T.A. Kuzmina.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The place of a laboratory practical work in out-of-class independent work of the fire technical colleges studying in relation to specifics of educational process is shown and requirements to such virtual laboratory are formulated. The scheme of virtual laboratory installation is developed and the model of a virtual experiment on measurement of degree of blackness is created. The algorithm allowing to emulate parameters of thermal radiation during the virtual laboratory experiment is offered. Options of an individual task for a virtual laboratory experiment which is offered to be executed the student during out-of-class independent work and approximate contents of the report on his performance are presented. The option of realization of virtual laboratory installation on the basis of the tabular Excel MS processor and macroes of Visual Basic is shown.

*Keywords:* laboratory practical work, laboratory work, independent work, natural experiment, virtual experiment, radiant heat exchange, blackness degree, spreadsheet, tabular processor

Особенностью учебного процесса в пожарно-технических вузах МЧС России является неизбежное отсутствие (часто незначительное) некоторого количества обучающихся на плановых аудиторных занятиях. Это обусловлено не только болезнями обучающихся и их службой в составе внутренних нарядов, но и служебными командировками, связанными с дополнительным обучением в специализированных центрах, а также участием в ликвидации последствий стихийных бедствий. Поэтому необходимым условием формирования необходимых профессиональных компетенций является организация эффективной самостоятельной работы обучающихся во внеаудиторный период, при этом специфика условий ведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ не всегда позволяет использовать для методической поддержки самостоятельной учебной работы возможности глобальной сети в режиме удаленного доступа. Таким образом, особую актуальность приобретает задача формирования виртуального учебно-методического комплекса поддержки внеаудиторной самостоятельной работы, который бы позволил возместить неизбежные потери вследствие отсутствия обучающихся на плановых аудиторных занятиях: лекциях, практических занятиях, лабораторных работах [1]. Если проблема информационного обеспечения виртуальных лекций достаточно успешно решается созданием электронных учебных пособий на основе технологий гипертекста, а практические занятия, связанные с освоением методик проведения технических расчетов, могут быть замещены самостоятельным выполнением обучающимся индивидуальных расчетных заданий (разумеется, при обеспечении необходимой информационной поддержки и инструментария промежуточного самоконтроля полученных результатов), то апробированных методов замещения внеаудиторной самостоятельной работой пропущенных аудиторных лабораторных занятий современная педагогическая практика пока не предлагает.

Естественным решением этой проблемы было бы предоставление обучающимся непосредственной возможности работы с программным комплексом, поддерживающим соответствующий виртуальный эксперимент, однако при этом возникает необходимость решения нескольких задач:

– использование аутентичного программного продукта при его непосредственной установке на персональный компьютер (ПК) обучающихся представляется затруднительным вследствие достаточно специфических процедур их установки и юридических ограничений, связанных с авторскими правами создателей этого программного продукта;

– при использовании аутентичного программного продукта в режиме «online» возникают не только юридические проблемы, но и ограничения, связанные с требованиями к линиям связи.

Одним из возможных путей преодоления этих ограничений является создание оригинального программного продукта в форме виртуальной лаборатории (ВЛ), позволяющего:

– непосредственно установить на ПК обучающегося ВЛ в составе моделирующего комплекса, методических указаний по проведению лабораторного эксперимента и средств самоконтроля результатов его обработки;

– эмулировать результаты исследуемого процесса и на их основе выполнить индивидуальное задание на лабораторный эксперимент.

Подобная идея была реализована в лабораторном эксперименте по определению величины степени черноты твердой поверхности и ее постоянного излучения. Возможный вариант конструктивного исполнения такой лабораторной установки описан [2] и подробно обоснован [3].

Лабораторная установка (рис. 1) представляет собой два соосно расположенных изготовленных из одинакового материала цилиндра 6 и 7. Пространство между теплопоглощающей поверхностью цилиндра 7 и теплоизлучающей поверхностью цилиндра 6 заполнена газом с небольшим коэффициентом поглощения, а толщина этой прослойки невелика. Внутри цилиндра 6 располагается теплоэлектронагреватель (ТЭН) 5, тепловую мощность которого можно регулировать лабораторным автотрансформатором 9. Температуры на теплоизлучающей поверхности измеряется для большей достоверности двумя термопарами 1 и 2. Напряжение и сила тока через ТЭН измеряются вольтметром 10 и амперметром 11. Температуры на теплопоглощающей поверхности измеряется двумя термопарами 3 и 4. С целью получения теплового потока лишь через боковые поверхности цилиндров 6 и 7 для теплоизоляции торцов предусмотрены заглушки 8, выполненные из материала с низкой теплопроводностью. Кроме того, длина цилиндров должна быть значительно больше их диаметров.

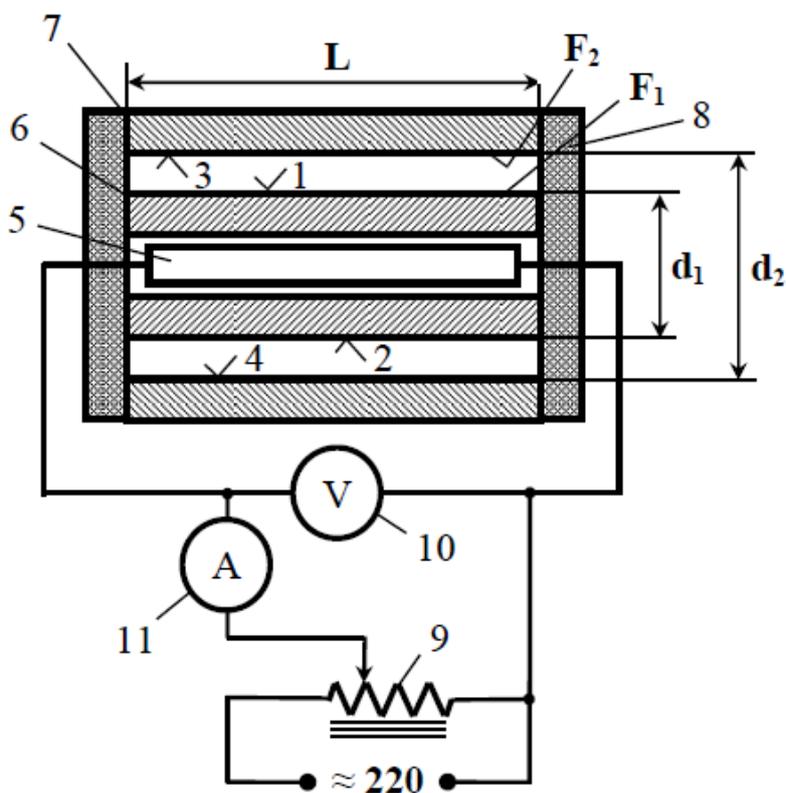


Рис. 1. Схема лабораторной установки по определению степени черноты твердого тела

В основе работы данной лабораторной установки лежит калориметрический метод, положенный в основу работы лабораторной установки, который предполагает, что тепло  $Q=I \cdot U$ , выделенное ТЭНом, будет переноситься от теплоизлучающей к теплопоглощающей поверхности как за счет теплопроводности с учетом конвективной составляющей, так и за счет теплового излучения.

Конвективная составляющая учитывается через коэффициент конвекции  $\varepsilon_k$ , исходя из предположения, что толщина газовой прослойки  $\delta=(d_2-d_1)/2 \ll L$  позволяет ее определить при помощи критериального уравнения:

$$\varepsilon_k = 0,18 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25},$$

где  $Pr_m$  – число Прандля для определяющей температуры газовой прослойки  $t_m$ , которая принимается равной полусумме измеренных температур на теплоизлучающей ( $t_{w1}$ ) и теплопоглощающей ( $t_{w2}$ ) поверхностях;

$$Gr_m = \beta_m \frac{g \cdot \delta^3}{g_m^2} (t_{w1} - t_{w2}) \text{ – число Грасгофа для определяющей температуры.}$$

В этом случае тепловые потери от теплоизлучающей к теплопоглощающей поверхности за счет теплопроводности с учетом конвективной составляющей  $Q_T$  определяются при помощи уравнения [4]:

$$Q_T = \frac{2\pi\lambda_m \varepsilon_k L (t_{w1} - t_{w2})}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}.$$

Тогда, зная величину лучистой составляющей  $Q_l = Q - Q_T$ , можно вычислить значение степени черноты поверхности  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{Q_l \left(1 + \frac{F_1}{F_2}\right)}{Q_l \cdot \frac{F_1}{F_2} + F_1 \cdot C_o \left[ \left(\frac{t_{w1} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{w2} + 273}{100}\right)^4 \right]}.$$

Исходные данные виртуального эксперимента по измерению степени черноты твердой поверхности содержат: внешний диаметр теплоизлучающей поверхности ( $d_1=50 \div 58$  мм), внутренний диаметр теплопоглощающей поверхности ( $d_2=70 \div 78$  мм), длину трубы ( $L=300 \div 390$  мм), пять значений напряжения на ТЭНе ( $U=50 \div 120$  В). Кроме того, задается номер исследуемой поверхности (то есть справочное значение степени черноты) и производится выбор характера газовой прослойки: воздух или продукты горения, что требует использования метода линейной интерполяции при учете зависимости их теплофизических свойств (коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , кинематической вязкости  $\nu$ , числа Прандля  $Pr$ ) от значения определяющей температуры  $t_m$ .

Изменяемыми параметрами являются: сила тока, протекающего через ТЭН  $I$  (А), а также температуры  $t_1$  и  $t_2$  на теплоизлучающей поверхности и температуры  $t_3$  и  $t_4$  на теплопоглощающей поверхности.

Таким образом, возникает задача эмуляции программными методами параметров процесса теплового излучения (то есть температур  $t_1$  и  $t_2$ ) и прогрева теплопоглощающей поверхности (то есть температур  $t_3$  и  $t_4$ ).

Задача эмуляции параметров работы ТЭНа решается относительно просто, используя закон Ома для участка цепи. Величина сопротивления ТЭНа принята равной 2 Ома.

Более сложной задачей является формирование зависимости температуры на теплоизлучающей поверхности от тепловой производительности ТЭНа. Эмпирически была найдена зависимость температуры  $t_{w1}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) от напряжения на ТЭНе  $U$  ( $\text{В}$ ):

$$t_{w1} = (U - 20) \cdot 6 + 220 .$$

Это позволило вычислить значение температуры на теплопоглощающей поверхности  $t_{w2}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) в первом приближении:

$$t_{w2} = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{t_{w1} + 273}{100}\right)^4 - \frac{Q}{C_o \cdot \varepsilon^2 \cdot F_1}} - 273 .$$

Алгоритм эмуляции программными методами параметров процесса теплового излучения и прогрева теплопоглощающей поверхности представлен на рис. 2.

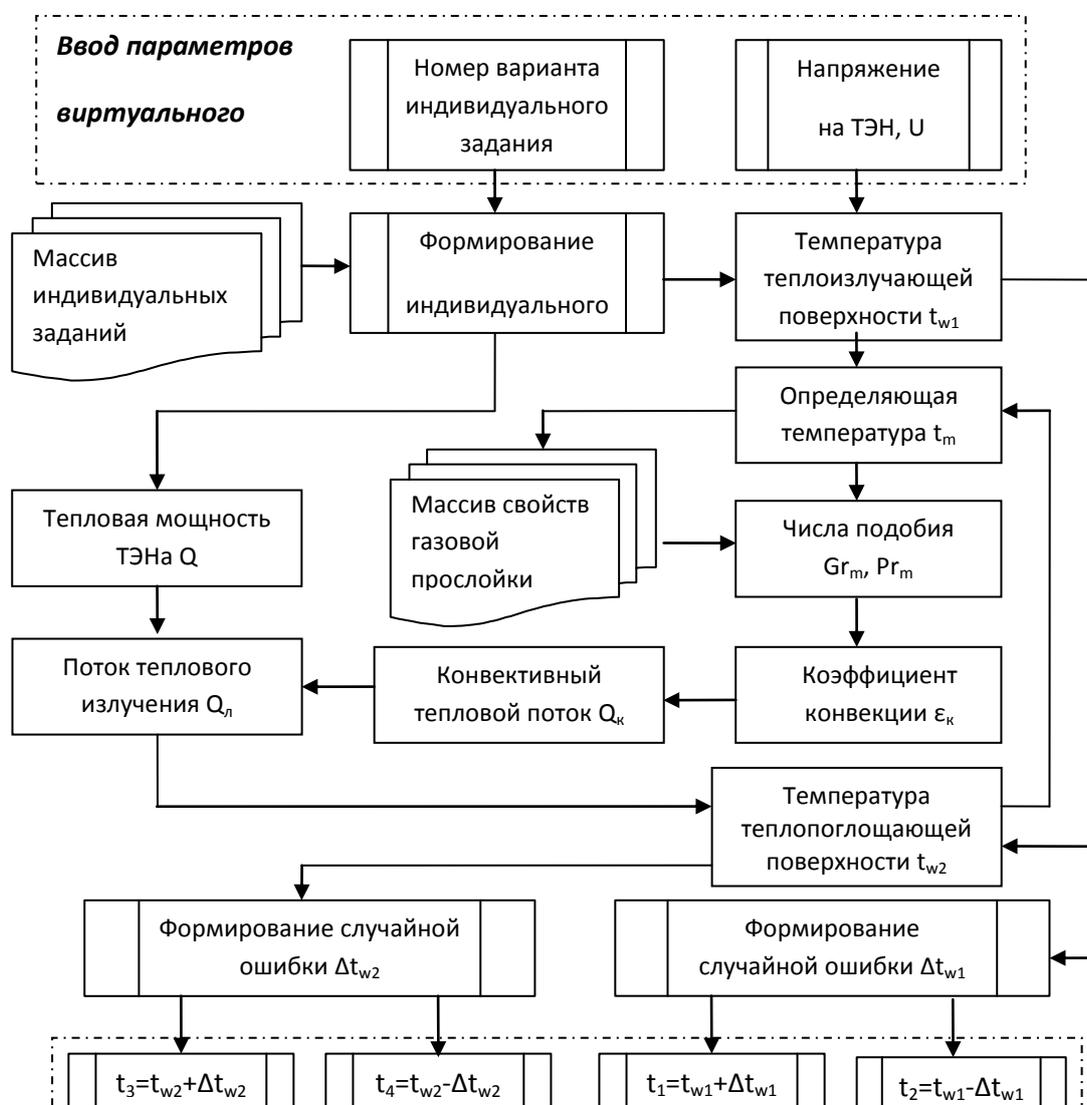


Рис. 2. Циклический алгоритм эмуляции параметров процесса теплового излучения и прогрева теплопоглощающей поверхности

Программная реализация циклического алгоритма эмулирования параметров процесса теплового излучения и прогрева теплопоглощающей поверхности была осуществлена в форме макроса, выполненного на MS Visual Basic [5] и инкорпорирована в оболочку табличного процессора MS Excel [6], которая использовалась для формирования необходимого интерфейса, представленного на рис. 3.

Ввести № варианта →

№ ВАРИАНТА		
9	4	7

**И С Х О Д Н Ы Е    Д А Н Н Ы Е :**

Длина теплоизлучателя	L, мм	0,3		
Диаметр наружного цилиндра	d <sub>1</sub> , мм	0,053		
Диаметр внутреннего цилиндра	d <sub>2</sub> , мм	0,076		
Газовая прослойка		продукты горения		
Напряжения ТЭНа, В	Режимы			
	50	60	70	85

Рис. 3. Интерфейс виртуальной лабораторной установки по измерению степени черноты поверхности

Порядок действия обучающегося при работе с предлагаемым программным продуктом предполагает выполнение операций в следующей последовательности:

1. Ввести трехзначный номер варианта индивидуального задания на лабораторный эксперимент. При этом конфигурация лабораторной установки приобретает параметры, соответствующие этому варианту;
2. В соответствии со второй цифрой номера варианта индивидуального задания на панели виртуальной лабораторной установки в окне «Напряжение ТЭНа, В» (рис. 3) выставить значение напряжения на электронагревателе  $U_1$ ;
3. Снять показания в окне «Сила тока через ТЭН, А»;
4. Снять показания температур  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$  в окнах «Температура поверхности t, °С»;
5. Повторить операции по п.п. 2÷4 для значений напряжения на электронагревателе  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  и  $U_5$  в соответствии с условиями эксперимента.

При обработке результатов эксперимента в качестве температуры теплоизлучающей поверхности принимаем среднеарифметическое значение показаний  $t_1$  и  $t_2$ , а в качестве температуры теплопоглощающей поверхности – среднеарифметическое значение  $t_3$  и  $t_4$  соответственно. При этом заложенные в алгоритм разбросы значений степени черноты поверхности в пяти опытах предполагают использование статистических методов при обработке результатов виртуального эксперимента, например, вычисление значения среднеквадратичного отклонения:

$$S(c_m) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(c_i - c_m)^2}{n(n-1)}} .$$

Ограниченное значение размеров программного продукта (126 кБайт), а также минимальные требования к аппаратному обеспечению, которые не выходят за рамки стандартного офисного ПК, делают доступным использование ВЛ по измерению степени черноты твердой поверхности для выполнения индивидуального задания в процессе внеаудиторной самостоятельной работы.

### **Литература**

1. Кузьмин А.А., Романов Н.Н. Исследование условий организации натурно-виртуальных теплотехнических экспериментов в учебном процессе пожарно-технических вузов: отчет НИР (заключительный), № гос-регистрации 01201455463.

2. Буров А.А., Ожогин В.А. Определение степени черноты и коэффициента излучения твердого тела: метод. указ. к лабораторной работе № 12. Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2004. 13 с.

3. Способ и устройство для измерения степени черноты: пат. 2521131 РФ, МПК G01J5/12 (2006.01).Е.В. Лаповок, М.М. Пеньков, Д.А. Слинченко, И.А. Уртминцев, С.И. Ханков. Приоритет от 11.01.2012, опубл. 27.06 2014. Бюл № 18.

4. Теплотехника: учебник для вузов. 3-е изд. / А.А. Александров [и др.]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 742 с.

5. Visual Basic | Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/visual-basic/> (дата обращения: 26.06.2017).

6. Excel – программа редактирования таблиц XLS | Microsoft URL: <https://products.office.com/ru-ru/excel> (дата обращения: 26.06.2017).



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Воронин Сергей Владимирович** – ст. инспектор гр. контроля кач-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Иванов Константин Серафимович** – зав. каф. механики и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ksiva1957@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Каверзнева Татьяна Тимофеевна** – доц. Высш. шк. техносф. безопасн. ФГАОУ ВО «СПб политехн. ун-т Петра Великого» (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), канд. техн. наук, доц.;

**Константинова Алина Станиславовна** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Кузьмин Анатолий Алексеевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

**Кузьмина Татьяна Анатольевна** – науч. сотр. отд. расчет. методов и информ. технол. в экспертизе пожаров Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), тел. (812) 441-07-46 (доб. 6135), e-mail: kuzmina@spsbugps.ru, канд. пед. наук;

**Кулек Николай Владимирович** – ст. препод. каф. спец. подготовки фак-та доп. проф. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), тел. (423)246-94-27, e-mail: dvpsa@igps.ru;

**Лабинский Александр Юрьевич** – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел.: (812) 369-69-70, канд. техн. наук, доц.;

**Медведева Людмила Владимировна** – зав. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пожарной безоп. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор пед. наук, проф.;

**Пермяков Алексей Александрович** – зам. нач. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: jouker2005@yandex.ru, канд. пед. наук;

**Пойманов Алексей Сергеевич** – ст. препод. каф. спец. подготовки фак-та доп. проф. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), тел. (423)246-94-27, e-mail: dvpsa@igps.ru;

**Поляков Александр Степанович** – проф. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пожарной безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф.;

**Пьянов Андрей Анатольевич** – препод. каф. спец. подготовки фак-та доп. проф. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), тел. (423)246-94-27, e-mail: dvpsa@igps.ru;

**Романов Николай Николаевич** – доц. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: romanov\_n.n@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Скрипник Игорь Леонидович** – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Чеберяк Вадим Викторович** – препод. каф. спец. подготовки фак-та доп. проф. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 27), тел. (423)246-94-27, e-mail: dvpsa@igps.ru.



---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 года, когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 30 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по программам среднего, высшего профессионального образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России. В целом в университете реализуется 93 образовательные программы.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы Чижиков Эдуард Николаевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям: «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 1 член-корреспондент РАН, 5 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 12 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 40 докторов наук, 212 кандидатов наук,

40 профессоров, 106 доцентов, 18 академиков отраслевых академий, 11 членов-корреспондентов отраслевых академий, 4 старших научных сотрудника, 8 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 1 почетный работник высшего профессионально-технического образования Российской Федерации, 2 почетных работника Российской Федерации и 2 почетных работника общего образования Российской Федерации.

В составе университета:

- 35 кафедр;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета;
- три факультета: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации.

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области обеспечения пожарной безопасности. Основные направления деятельности НИИ: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Судебная экспертиза», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск, Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 6 837 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Так же университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и Постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 11 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями Университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-Сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны (МОГО), Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, информационно правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонд библиотеки университета составляет более 320 000 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Фонды библиотеки имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к крупнейшим библиотекам нашей страны и мира (Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина, Российская национальная библиотека, Российская государственная библиотека, Библиотека академии наук, Библиотека Конгресса США). Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2018 г. в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати, включая иностранные журналы, активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 7 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых

научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте культуры. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА

## «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ»

### (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

---

---

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

**1. Материалы** для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб УГПС – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

#### **3. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии **авторов (не более трех)**; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

*Требования к аннотации.* Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

#### **4. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

## **5. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

## **6. Оформление библиографии (списка литературы):**

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

### **Литература**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой опасности: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

## **7. Оформление раздела «Сведения об авторах»**

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

**Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.**

**Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.**

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное, анонимное рецензирование.**

---

---

**МЧС РОССИИ**  
**ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет**  
**Государственной противопожарной службы»**

Научно-аналитический журнал

**Природные и техногенные риски**  
**(физико-математические и прикладные аспекты)**

**№ 4 (28) – 2018**

Выпускающий редактор  
П.А. Болотова  
А.В. Домничева

---

Подписано в печать 28.12.2018. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. 8,0 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149